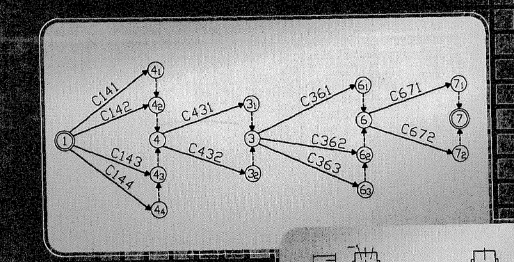


تكنولوجيا تنفيذ وتنظيم الأعمال الترابية في المشاريع الهندسية



تأليف

د. م. محمد بشار الحفار   د. م. نبيل غازي الهزيم

مراجعة

د. م. رياض الحسين

المنظمة العربية
للـــتربيـــة والثـــقافـــة والعـــلـــوم



المركـــز العـــربي
للتعريب والترجمة والتأليف والنشر

تكنولوجيا تنفيذ وتنظيم الأعمال الترابية
في المشاريع الهندسية

تكنولوجيا تنفيذ وتنظيم الأعمال الترابية في المشاريع الهندسية

تأليف

د.م محمد بشار الحفار   د.م. نبيل غازي الهزيم

مراجعة

د.م. رياض الحسين

دمشق   2004

تكنولوجيا تنفيذ وتنظيم الأعمال الترابية في المشاريع الهندسية

تأليف: د.م. محمد بشار الحفار و د.م. نبيل غازي الهزيم

المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر بدمشق

ص.ب: 3752 ــ دمشق ــ الجمهورية العربية السورية

هاتف: 3334876 11 963 + ــ فاكس: 3330998

E-mail: acatap@net.sy
Web Site: www.acatap.org

تصديــر

يندرج تأليف هذا الكتاب (تكنولوجيا تنفيذ وتنظيم الأعمال الترابية في المشاريع الهندسية) في عداد إنجازات المركز العربــي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر بدمشق في تلبية طموحاته وأهدافه في تأليف الكتب والمراجع الهامة التــي تخص التعليم العالي في الوطن العربــي وتزويد المكتبة العربية بأحد وسائل المعرفة وإتاحته أمام جمهور المهندسين والعاملين في تنفيذ وإدارة المشاريع الهندسية.

ولهذه الغاية أهتم الكتاب بطرح بعض القواعد الفنية وطرق الإنشاء المختلفة والتــي تحقق تكنولوجيا وتنظيم تنفيذ الأعمال الترابية بما يحقق إضافة جديدة لجملة العلوم التطبيقية والتنظيمية في هذا المجال من خلال ما يسمى علم الإدارة أو علم التشييد (Construction Management).

هذا العلم الذي بدء يحتل حيزاً مهماً وحيوياً في جميع القطاعات العلمية بما فيها قطاع التشييد والمتعلق بتنفيذ الأعمال الترابية والذي لم يأخذ دوره حتــى الآن في بلدنا مما أدى في الكثير من المشاريع التي نفذت إلى هدر كبير في الموارد وزمن التنفيذ والذي أدى بدوره إلى خسائر مادية كبيرة انعكست سلباً على الجدوى الاقتصادية لهذه المشاريع.

كما يعد هذا الكتاب مرجعاً علمياً تحتاجه المكتبة الجامعية ويستفيد منه طلاب كليات الهندسة كونه يوضح الطرق العلمية الحديثة التــي تساعد المهندس من القيام بالتخطيط الأمثل لتنفيذ الأعمال الترابية والتــي تشكل غالباً نسبة كبيرة من مجمل أعمال المشروع الهندسي.

إن التطور الكبير للأعمال الهندسية في الآونة الأخيرة وظهور التخصصات المختلفة والاهتمام بالنواحي الاقتصادية أدى إلى ضرورة إنهاء المشاريع ضمن فترات زمنية قصيرة وبأقل جهد ممكن وبأقل التكاليف المادية الممكنة.

فقد استعرض هذا الكتاب أهم الطرق الحديثة المستخدمة لتحديد وتشكيل طواقم العمل الأمثلية لتنفيذ الأعمال الترابية وذلك بالاستفادة من الطرق الرياضية الحديثة كبحوث العمليات (Operations Research) من خلال تطبيق نظريات الأرتال (Queuing Theory) وتحليل القرار (Decision Analysis) والتخطيط الشبكي (Diagramming Arrow).

كما تم استعراض مفصل للآليات المستخدمة في تنفيذ الأعمال الترابية وطرق حساب إنتاجيتها وذلك بهدف حساب زمن عملها والاستغلال الأقصى لطاقتها.

مدير المركز

الدكتور عادل نوفل

مقدمـــة

أدى التطور الكبير في المجالات التقنية إلى تعدد طرق وسائل التنفيذ وازدادت تعقيداً وتشعباً مما أدى إلى ضرورة وضع أسس ومبادئ تكنولوجية وتنظيمية بهدف إشادة المنشآت الهندسية بطريقة تعتمد على رفع مستوى المكننة والأتمتة لهذه الأعمال.

وقد لوحظ بأن النواحي التنفيذية تشكل في بعض الأحيان ثغرة كبيرة تواجه المهندس أثناء التنفيذ.

لذا حاولنا قدر المستطاع للمواضيع فكرة تقنية وتنظيم تنفيذ الأعمال الترابية وذلك بهدف معالجة النواحي التنفيذية للمواضع التـــي ستساعد المهندس حتماً على تشكيل طاقم العمل الأمثل من بين عدة خيارات ممكنة.

يتألف هذا الكتاب من سبعة فصول تغطي قدر الإمكان مجالاً كبيراً من هذا النوع من الأعمال الهندسية.

حيث يقدم الفصل الأول مقدمة عن الترب وخواصها التكنولوجية وتصنيفها بينما يشرح الفصل الثانـــي التقنيات المستخدمة لتنفيذ الأعمال الترابية مع طرق حساب وتحديد حجم هذه الأعمال مع بيان الطرق والشروط الهندسية لاستقرار المنشآت الترابية وطرق تخفيض منسوب المياه الجوفية وطرق حماية الحفريات من الانهيارات وتثبيت جدرانها.

ويهتم الفصل الثالث بمكننة الأعمال الترابية مع بيان العوامل المؤثرة في اختيار الآليات الخاصة بها مع حساب إنتاجياتها والأسس الهندسية والميكانيكية لهذه الآليات.

في الفصل الرابع تم استعراض أفضل الطرق لتنفيذ الأعمال الترابية مع بيان أهم الآليات المستخدمة في هذه الأعمال وطرائق عملها والعوامل المؤثرة في اختيارها.

واهتم الفصل الخامس بتقنيات الأعمال الترابية بواسطة التفجير.

وقد تم التوضيح في الفصل السادس للطرق المستخدمة لتشكيل طواقم آليات الأعمال الترابية وقواعد التصميم الأمثل لهذه الطواقم وذلك باستخدام تقنية بحوث العمليات ونظرية

الأرتال، والتخطيط الشبكي.

أما الفصل السابع فقد اهتم بأهم الطرق لتأمين سلامة وأمان العمل.

وفي الختام نتمنـــى بأن نكون قد وفقنا بأن نظهر هذا الكتاب بشكل علمي ومبسّط وأن نكون قد أحطنا قدر الإمكان بجميع جوانب هذا المجال من الأعمال الهندسية.

الفهرس

مقدمة III

الفهرس IX

الفصل الأول: التربة وخواصها 1

1.1 الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للترب 1

2.1 خصائص حالات التربة 10

3.1 خصائص التشييد للتربة 13

4.1 تصنيف التربة بحسب التعامل معها 13

الفصل الثانـــي: تقنيات تنفيذ الأعمال الترابية 15

1.2 مقدمة 15

2.2 العمليات الجزئية للأعمال الترابية 15

3.2 حساب حجوم الأعمال الترابية 17

4.2 استقرار الحفر 30

5.2 استقرار الميول 31

1.5.2 انهيار الحاجز الترابـــي خلال التشييد 33

2.5.2 استقرار قاع الحفرة 35

3.5.2 منع انهيار الحاجز الترابـــي 35

4.5.2 حماية الحُفر والعمالة 37

5.5.2 الميول والتدرج 38

6.2 تخفيض مستوى المياه الجوفية 38

1.6.2 أنظمة نقاط الآبار 41

2.6.2 الآبار الفراغية 42

3.6.2 تخفيض منسوب المياه الجوفية باستخدام طريقة التشرد الكهربائي ... 42

7.2 الحقن 43
1.7.2 أساليب الحقن.. 43
2.7.2 طرائق عملية الحقن.. 45
8.2 الحماية من الانهيارات وتثبيت جدران الحفريات والخنادق.............. 45
1.8.2 التثبيت بواسطة الدعامات المائلة 47
2.8.2 التثبيت الوتدي 48
3.8.2 المثبتات الظفرية 50
4.8.2 المثبتات الجائزية 50
5.8.2 المثبتات الظفرية الجائزية.. 51
6.8.2 تثبيت الجدران الشاقولية للخنادق بالشكل الهيكلي 51
الفصل الثالث: مكننة عمليات الأعمال الترابية 53
1.3 مقدمة... 53
2.3 العوامل المؤثرة في اختيار آليات الأعمال الترابية 53
3.3 الأسس الهندسية للآلات.. 56
4.3 أسس حساب إنتاجيات الآليات.. 58
الفصل الرابع: تقنية تنفيذ الأعمال الترابية 61
1.4 مقدمة... 61
2.4 الآليات المستخدمة في الأعمال الترابية 61
1.2.4 المحارف الآلية العميقة 61
1.1.2.4 أنواع المحارف العميقة وطريقة عملها 67
2.1.2.4 تصنيف المحارف.. 81
2.2.4 المحارف السطحية 90
3.2.4 آلات الثقب 139
3.4 أعمال الردم... 145
1.3.4 مقدمة.. 145

2.3.4 أنواع الردم 145
3.3.4 انتخاب التربة الصالحة للردم 148
4.4 تقنية رص التربة.. 152
1.4.4 مقدمة.. 152
2.4.4 تصنيف أنواع الرص 152
3.4.4 عوامل اختيار آليات الرص.. 156
4.4.4 أنواع آليات الرص.. 161
5.4 تقنية النقل الأفقي 177
1.5.4 مقدمة.. 177
2.5.4 أنواع النقل 178
3.5.4 النقل على الطرقات.. 178
4.5.4 أعمال نقل التربة.. 179
الفصل الخامس: تنفيذ الأعمال الترابية بواسطة التفجير........................ 201
1.5 تعريف 201
2.5 استخدامات التفجير 201
3.5 تعريف الشحنة.. 201
4.5 المواد المتفجّرة.. 202
5.5 أساليب التفجير 202
1.5.5 الأسلوب الناري 202
2.5.5 أسلوب الفتيل الصاعق.. 203
3.5.5 الأسلوب الكهربائي 203
6.5 الطرق الأساسية لتنفيذ الأعمال الترابية بواسطة التفجير 205
1.5.6 طريقة الشحنات المتوضّعة في الثقوب 207
2.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الآبار 208
3.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في التجويف 208

4.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الجيوب الصغيرة 209
5.6.5 طريقة الشحنات المتوضعة في الحجرات 210
6.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الشقوق 211
7.6.5 طريقة الشحنات المتوضعة على السطح 211
8.6.5 الطريقة المختلطة 211
7.5 خلخلة التربة بواسطة التفجير 211
8.5 تنفيذ الحفر بواسطة التفجير الموجّه.. 212
9.5 أمن العمل أثناء القيام بالتفجير.. 213
10.5 الطرق الهيدروميكانيكية لتنفيذ الأعمال الترابية 215
1.10.5 مدافع الماء 215
2.10.5 أجهزة تجريف وضخ التربة من الماء 220
الفصل السادس: قواعد التصميم الأمثل لتشكيل طواقم آليات الأعمال الترابية 223
1.6 مقدمة.. 223
2.6 قواعد تصميم طواقم الآليات باستخدام نظرية الأرتال.......................... 224
3.6 قواعد تصميم طواقم الآليات باستخدام طريقة التخطيط الشبكي......... 238
4.6 قواعد تصميم الآليات حسب نوع التربة والمسافة المتوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم 245
1.4.6 مقدمة 245
2.4.6 التربة قاسية جداً.. 246
3.4.6 التربة نصف قاسية وقابلة للحفر بواسطة الريبر 247
4.4.6 التربة متوسطة القساوة ويوجد فيها بعض الكتل الصخرية.......... 247
5.4.6 التربة طرية (رملية أو سيلتية) وليس فيها كتل صخرية 248
الفصل السابع: أمن وسلامة العمل 249
1.7 مقدمة.. 249

2.7 تعريف الحادث 249
3.7 أسباب وقوع الحوادث 249
4.7 نتائج وآثار الحوادث... 250
1.4.7 الجانب الإنساني.. 250
2.4.7 الجانب الاقتصادي 250
3.4.7 تكلفة الحوادث 250
5.7 تعريف السلامة 251
6.7 أهمية وضع برنامج للسلامة وإتباع قواعده.............................. 251
7.7 أهداف برنامج السلامة 252
8.7 قياس فعالية برنامج السلامة... 252
9.7 ملحق تخطيط أعمال الحفر والردم 255
10.7 الأداء الآمن في أعمال نقل المواد والتجهيزات في الموقع............ 256
المصطلحات... 259
المراجع 265

الفصل الأول

التـربـة وخـواصهـــا

1.1 الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للترب

1. الرطوبة الطبيعية

وهي وزن الماء في التربة إلى وزن التربة الجاف ونرمز لها بـــ w، وتحسب من العلاقة (1-1):

$$W = \frac{g_w}{g_d} * 100\% \qquad (1\text{-}1)$$

حيث:

g_w: وزن الماء في التربة (t, kg, g)

g_d: وزن التربة الجاف (t, kg, g)

إن نسبة الرطوبة الطبيعية في الترب المفككة ضئيلة (3% → 4%) أما في الترب الغضارية تكون نفاذيتها قليلة وتصل نسبة الرطوبة إلى 60% وأكثر.

2. الوزن الحجمي للتربة

هو وزن وحدة الحجم من التربة في حالتها الطبيعية.

يتراوح الوزن الحجمي للتربة الرملية والغضارية ما بين $(1.5 - 2)t/m^3$. ويصل الوزن الحجمي لتربة الصخرية حتـــى $(3.3)\ t/m^3$ حسب العلاقة (1-2).

$$\gamma = \frac{g}{V} \qquad (2\text{-}1)$$

حيث:

g: وزن التربة (t, g).

V: حجم التربة (m^3, cm^3).

γ : الوزن الحجمي للتربة ($g/cm^3, t/m^3$).

3. الوزن النوعي

هو وزن الجزء الصلب في التربة إلى حجمه، ويحسب من العلاقة (1-3):

$$\gamma_s = \frac{g_s}{V_s} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث:

γ_s: الوزن النوعي ($g/cm^3, t/m^3$).

g_s: وزن الجزء الصلب (g, t).

V_s: حجم الجزء الصلب (cm^3, m^3).

4. الوزن الحجمي الجاف

وهو وزن الجزء الصلب في التربة إلى حجم التربة، ويحسب من العلاقة (1-4):

$$\gamma_d = \frac{g_s}{V} \qquad (4\text{-}1)$$

حيث:

γ_d: الوزن الحجمي الجاف (g/cm^3).

g_s: وزن الجزء الصلب (g).

V: حجم التربة (cm^3).

5. المسامية

وهي حجم المسامات في وحدة الحجم من التربة ونرمز لها بـــ n، وذلك حسب العلاقة (5-1):

$$n = \frac{V_v}{V} * 100\% \qquad (5\text{-}1)$$

حيث:

V: حجم التربة (m^3).

V_v: حجم المسامات في التربة (m^3).

والمساميّة ليست لها واحدة.

6. معامل المساميّة

وهي نسبة حجم المسامات إلى حجم الجزء الصلب ويرمز لها بـــ e، وتحسب من العلاقتين (1-6) أو (1-7):

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} \quad (6\text{-}1)$$

أو

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (7\text{-}1)$$

7. نسبة الامتلاء (m)

هي نسبة حجم الحبيبات الصلبة إلى الحجم الكلي، حيث تحسب من العلاقتين **(1-8)**، (1-9):

$$m = \frac{V_s}{V_t} \quad (8\text{-}1)$$

$$n = 1 - m \quad , \quad m = 1 - n \quad (9\text{-}1)$$

8. الوزن الحجمي المشبع γ_s

هو وزن واحدة الحجم من التربة عندما تكون المسامات مليئة بالماء، حيث تحسب من العلاقة (1-10):

$$\gamma_s = \gamma_d + h \cdot \gamma_w \quad (10\text{-}1)$$

9. الوزن الحجمي المغمور γ_{Sub}

الوزن الحجمي المغمور والوزن الحجمي تحت تأثير دافعة أرخميدس، يحسب من العلاقة (1-11).

$$\gamma_{Sub} = (g - 1)(1 - h) = (G - 1)m \quad (11\text{-}1)$$

10. رطوبة الإشباع W_s

هي الرطوبة عندما تكون المسامات مليئة بالماء، حيث تحسب من العلاقات (1-12) و(1-13).

$$W_S = \frac{g_w}{g_s} = n\frac{\gamma_w}{m_g} \qquad (12\text{-}1)$$

$$W_S = c.\frac{\gamma_w}{g} \qquad (13\text{-}1)$$

11. درجة الإشباع I_s

هي نسبة الرطوبة الطبيعية في التربة إلى رطوبة الإشباع، حيث تحسب من العلاقة (1-14):

$$I_S = \frac{W \cdot g}{e.\gamma_w} \qquad (14\text{-}1)$$

12. خلخلة التربة

وهي تعبر عن ازدياد حجم التربة بعد معالجتها نتيجة فقدان التماسك بين ذراتها، هذا ويؤثر عامل الخلخلة بشكل مباشر في إنتاجية آليات النقل والجرف. ويميز زيادة الحجم عاملين:

آ- عامل خلخلة التربة البدائي η_L، ويحسب من العلاقة (1-15):

$$\eta_L = \frac{V_L}{V_n} \qquad (15\text{-}1)$$

حيث:

V_L: حجم التربة بعد خلخلتها m^3.

V_n: حجم التربة بالطبيعة m^3.

ويأخذ القيم التالية:

- في الترب الغضارية: 1.32 – 1.24
- في الترب الرملية: 1.17 – 1.08
- السيلتية: 1.6 – 1.5

ب- عامل خلخلة التربة المتبقي، ويحسب من العلاقة (1-16):

$$\eta_{LR} = \frac{V_c}{V_n} \qquad (16\text{-}1)$$

حيث:

V_c: حجم التربة بعد رصها m^3.

V_n: حجم التربة في وضعها الطبيعي.

ويأخذ القيم التالية:

- في الترب الرملية: 1.025 – 1.01
- في الترب الغضارية: 1.09 – 1.04

تختلف قيم عاملي الخلخلة البدائي والمتبقي تبعاً لنوع التربة كما هو مبين في (الجدول 1-1) بالنسبة لبعض أنواع الترب.

الجدول 1-1: قيم معامل الخلخلة

نوع التربة	η_L	η_{LR}
رملية	1.1-1.17	1.02-1.05
سيلت رملي	1.18-1.28	1.03-1.06
غضارية	1.24-1.30	1.04-1.09
صخرية	1.45-1.5	1.20-1.3

من الجدول نلاحظ أنه كلما ازدادت قيم عامل الخلخلة كلما دلّ ذلك على ازدياد صعوبة التعامل مع التربة.

وكذلك يمكن التعبير عن مؤشر الخلخلة الذي يعبر عن درجة الخلخلة بنسب مئوية.

ج- مؤشر الخلخلة البدائي، ويحسب من العلاقة (1-17):

$$\eta_{Lb} = (\eta_L - 1) \cdot 100\% \qquad (17\text{-}1)$$

د- مؤشر الخلخلة المتبقي، ويحسب من العلاقة (1-18):

$$\eta_{LRb} = (\eta_{LR} - 1) \cdot 100\% \qquad (18\text{-}1)$$

هـ- قابلية التحول: وهي تعبر عن قدرة التربة على التحول من حالة اللدونة إلى حالة السيلان تحت تأثير قوى الصدم والاهتزاز. وهذه الصفة تتعلق بالتركيب الحبي للتربة وتركيبها الكيميائي وكذلك برطوبتها ونسبة جزيئات الماء الحرة والمرتبطة فيها.

و- النفاذية للماء: قابلية التربة لتمرير الماء تحت الضغط الخارجي. ويعبر بواسطة معامل التصريف (Kw) عن مقدار النفاذية للماء (M/day). كما يوضح (الجدول 1-2).

الجدول 1-2: قيم معامل التصريف حسب نوع التربة

تربة رملية	$K_W > 0.10$
سيلت رملي	$0.1 > K_W > 0.01$
سيلت غضاري	$0.01 > K_W > 0.10^{-6}$
تربة غضارية	$0.10^{-6} > K_W > 1.1^{-9}$

ز- قابلية الالتصاق: قابلية التربة للالتصاق على السطوح الصلبة (وجودها يدل على وجود الغضار في التربة وعلى كميته).

ح- قابلية الكشط: تعبر عن مواصفات بعض الترب بإحداث تأثير سلبي واهتراء في أجزاء الحفر للآلية الترابية.

عند وضع الطرق التكنولوجية لتنفيذ الأعمال الترابية، يؤخذ بعين الاعتبار ما يسمى بصعوبة المعالجة، وتتعلق هذه الصفة ليس فقط بخواص التربة، وإنما بالجهد الذي يتطلب في معالجتها تبعاً للآلية المستخدمة في ذلك.

وتعطي بعض دفاتر المواصفات الفنية تقسيماً للتربة تبعاً لصعوبة معالجتها كأن تصنفها مثلاً عند معالجتها بواسطة الحفارة ذات المجرفة الوحيدة إلى ست مجموعات هي:

- المجموعة الأولى: الترب الضعيفة والهشة.
- المجموعة الثانية: الترب الثقيلة.
- المجموعة الثالثة: الترب الغضارية الثقيلة.
- المجموعة الرابعة: الترب الصخرية الهشة.
- المجموعة الخامسة والسادسة: الترب الصخرية القاسية.

وعند استخدام البلدوزر والغرايدر تصنف إلى ثلاث مجموعات:

جيدة التدرج – متوسطة التدرج – سيئة التدرج

أما عند التنفيذ اليدوي فتصنف إلى سبع مجموعات، وفي كل حالة تملك المجموعة الأصغر صعوبة معالجة أقل مما هي عليه في المجموعات الأخرى.

13. زاوية الميل الطبيعي للتربة

وهي الزاوية التـــي تكون فيها التربة في حالة توازن حدّي وتتعلق بقوى التماسك وضغط الطبقات العليا وزاوية الاحتكاك الداخلي.

إن ميول الحواف للحفريات أو الردميات يعبر عنها بنسبة ارتفاع حوافها إلى قاعدة الحواف، أي العلاقة (1-19):

$$\frac{1}{m} = \frac{h}{a} \qquad (19\text{-}1)$$

حيث:

h: ارتفاع الحواف.

a: قاعدة الحافة.

m: عامل الميول: يختلف في القيمة لمختلف أنواع الحفريات أو الردميات المؤقتة أو الدائمة.

ويمكن أن تكون الميول صغيرة للحفريات غير العميقة والمؤقتة، أما ميول الحفريات العميقة فيمكن أن تنفذ بشكل متدرج، أو تحتاج إلى تدعيم.

14. نفوذية الماء للتربة

يعبر عنه بعامل النفوذية k_p ويقدر بـــ (m/day) أو (cm/sec)

15. تماسك التربة

حيث يعبر عن مقاومة التربة لقوى القص، وتتعلق بنوعية التربة ونسبة رطوبتها.

في الترب الغضارية تتراوح قيمة التماسك بين: $0.5 \rightarrow 20$ Mpa ميغاباسكال.

في الترب الرملية تتراوح قيمة التماسك بين: $0.3 \rightarrow 5$ Mpa ميغاباسكال.

16. قابلية التربة للانحلال (الذوبان) والنقل بالماء

يعبر عنها بسرعة الماء الناقل للتربة ويقدر m/sec، ويجب أن لا تتجاوز قابلية الانحلال السرعات التالية:

- بالنسبة للترب الغضارية: 1.5 m/ sec
- بالنسبة للترب الرملية الناعمة: $0.5 \rightarrow 0.6$ m / sec
- بالنسبة للترب الرملية الخشنة: $1 \rightarrow 2$m / sec

17. التركيب الحبـــي

هو عبارة عن مجموعة الجزئيات الصلبة الموجودة في التربة بأبعادها المختلفة، وقد تكون متقاربة من بعضها أو متباعدة.

كما يمكن أن تكون هذه الجزئيات مستديرة أو حادة الحواف أو خشنة أو ملساء.

ويتم تحديد التركيب الحبـــي للتربة بواسطة تجربة المناخل أو المهزات ومنها نحصل على ما يسمى منحنـــي التحليل الحبـــي للتربة، وحسب شكل المنحنـــي يتم تسمية التربة.

ومن الأشياء الهامة تحديد معامل التجانس الحبـــي (معامل عدم الانتظام) Cu، ويحسب من العلاقة (1-20):

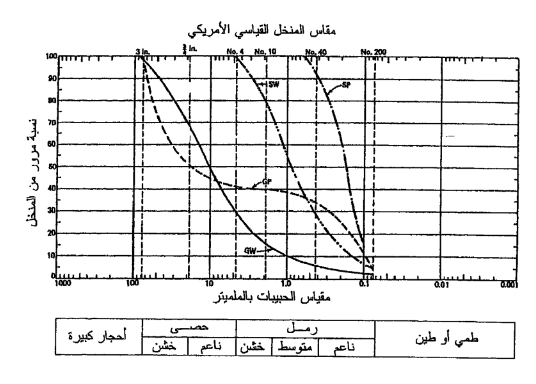
$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad (20\text{-}1)$$

حيث:

D_{60}: قطر فتحة المنخل المار عنده 60% من العينة.

D_{10}: قطر فتحة المنخل المار عنده 10% من العينة.

Cu يعطي فكرة عن التدرج الحبـــي ($Cu < 5$ تكون النسبة ذات تدرج متجانس، $Cu < 5$ تكون التربة ذات تدرج جيد)، حيث تقسم الترب إلى جيدة التدرج الحبـــي أو متوسط أو سيئة، وهذا يفيدنا في تحديد قابلية الترب للرص (الشكل 1-1).



الشكل 1-1: منحنيات التدرج النمطية لتربة خشنة الحبيبات

1. ترب سيئة التدرج الحبـــي (متجانسة):

وذلك عندما تكون التربة مؤلفة من ذرات ذات قياسات متماثلة ومتساوية تقريباً تسمى مواد منتظمة القياس.

2. ترب جيدة التدرج الحبـــي:

عندما تكون التربة مؤلفة من ذرات مختلفة فيها الذرات الكبيرة والصغيرة (ذرات التربة تتغير ضمن مجال واسع).

3. ترب ذات التدرج الجيد جداً:

وذلك عندما تكون الذرات الصغيرة قادرة على إملاء الفراغات بين الذرات الكبيرة وهذا ما نسميه ترب كثيفة التدرج.

4. ترب ذات تدرج متقطع:

حيث يتألف منحنـــي التركيب الحبـــي لها من عدة مصاطب وأدراج، عندها يتم تصنيف التربة حسب ذراتها بشكل عام، حسب (الجدول 1-3).

الجدول 1-3: تصنيف التربة حسب ذراتها

مواد خشنة	أحجار، بحص خشن، بحص ناعم، رمل	ذرات هذه الأنواع ترى بالعين وتقاس نعومتها وتدرجها الحبـــي بواسطة المناخل
مواد ناعمة	سيلت، غضار	ذرات هذه الأنواع ناعمة جداً وتقاس نعومتها وتدرجها بالترسيب

2.1 خصائص حالات التربة

هناك ثلاث حالات رئيسة ممكن أن تتواجد فيها مواد التربة المنقولة: طبيعية وسائبة ومرصوصة، معنـــى هذه المصطلحات كالآتـــي:

طبيعية: المادة في حالتها الطبيعية قبل إجراء أي تغيير عليها. غالباً تدعى «في الموقع» أو في «موضعها». وحدة الحجم تقاس بالمتر المكعب الطبيعي.

سائبة: مادة حفرت أو حُملت. وحدة الحجم بالمتر المكعب السائب.

مرصوصة: مادة بعد الرص. تقاس بالمتر المكعب المرصوص.

الخلخلة:

يزداد حجم التربة عندما تحفر، لأن حبيبات التربة تنفصل عن بعض خلال الحفر، ويملأ الهواء الفراغات الناشئة. نتيجة لذلك فإن وحدة حجم التربة في الحالة الطبيعية سوف تشغل أكثر من وحدة الحجم بعد الحفر. تسمى هذه الظاهرة بالانتفاخ. والانتفاخ ممكن أن يحسب من العلاقة (1-21):

$$\text{الخلخلة}\ \% = 100 \times \left\{ 1 - \frac{\text{الوزن كحجم طبيعي}}{\text{الوزن كحجم سائب}} \right\} \qquad (21\text{-}1)$$

الـــرص:

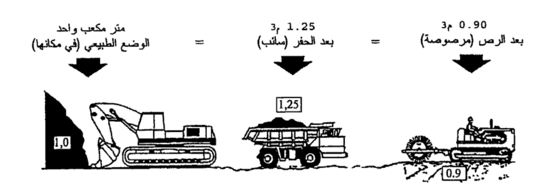
عندما ترص التربة فإن بعض الهواء يجبر على الخروج من الفراغات؛ نتيجة لذلك فإن التربة سوف تشغل حجماً أقل مقارنة بالحالة الطبيعية أو السائبة.

هذه الظاهرة، وهي عكس ظاهرة الخلخلة، تدعى الرص. يمكن إيجاد قيمة الرص من

العلاقة (1-22):

$$\text{الرص \%} = 100 \times \left\{ 1 - \frac{\text{الوزن كحجم طبيعي}}{\text{الوزن كحجم سائب}} \right\} \qquad (1\text{-}22)$$

إن تغير حجم التربة بسبب الحفر والرص موضح (بالشكل 1-2). لاحظ أن كلاً من الخلخلة والرص قد حسب من الحالة الطبيعية.



الشكل رقم 1-2: التغير النمطي لحجم التربة

عوامل التحميل والرص:

إن تحويل حجوم المواد إلى وحدة قياس موحدة مهم لعمل حسابات نقل التربة. مع أن (المتر) المكعب الطبيعي غالباً ما تستخدم لهذا الغرض، إلا أن أي وحدة من وحدات الحجم الثلاثة ممكن استخدامها.

لأن حجم وحدة النقل وحجم المواد المجمَّعة، عادة تعرف كقياس سائب فإنه من الأنسب أن يكون هناك عامل تحويل لتسهيل تحويل الحجم السائب إلى الحجم الطبيعي. يسمى العامل المستخدم لهذا الغرض بعامل التحميل. عامل التحميل للتربة ممكن أن يحسب باستخدام العلاقة (1-23).

$$\text{عامل التحميل} = \frac{\text{الوزن لكل وحدة حجم سائب}}{\text{الوزن لكل وحدة حجم طبيعي}} \qquad (1\text{-}23)$$

أو من العلاقة (1-24):

$$\text{عامل التحميل} = \frac{1}{1 + \text{الخلخلة}} \qquad (24\text{-}1)$$

ثم يضرب الحجم السائب بعامل التحميل للحصول على الحجم الطبيعي.

يسمى العامل المستخدم لتحويل حجم طبيعي إلى حجم مرصوص (عامل الرص). يمكن حساب عامل الرص باستخدام المعادلة التالية. يمكن ضرب الحجم الطبيعي بعامل الرص للحصول على الحجم المرصوص، أو ممكن قسمة الحجم المرصوص على عامل الرص للحصول على الحجم الطبيعي. العلاقة (1-25) و(1-26).

$$\text{عامل الانكماش} = \frac{\text{وزن لكل وحدة حجم طبيعي}}{\text{وزن لكل وحدة حجم مرصوص}} \qquad (25\text{-}1)$$

$$1 - \text{الرص} = \text{عامل الرص} \qquad (26\text{-}1)$$

القيم النمطية لوحدة الوزن والانتفاخ والانكماش وعامل التحميل وعامل الانكماش لبعض مواد نقل التربة الشائعة موضحة في (الجدول 1-4).

الجدول 1-4: وزن التربة وخصائص تغيير الحجم النمطي

	وحدة الوزن (كغم/م^3)			الخلخلة	الرص	عامل	عامل
	سائب	طبيعي	مرصوص	%	%	التحميل	الرص
طين	1370	1780	2225	30	20	0.77	0.8
تربة عادية	1471	1839	2047	25	10	0.8	0.9
صخر (مفجر)	1815	2729	2106	50*	-30	0.67	1.3*
رمل وحصى	1697	1899	2166	12	12	0.89	0.88

* الصخر المرصوص أقل كثافة من الصخر في وضعه الطبيعي.

3.1 خصائص التشييد للتربة

بعض خصائص التشييد المهمة للتربة المصنَّفة في النظام الموحد (Unified System) ملخصة في (الجدول 1-5).

الجدول 1-5: خصائص التشييد للتربة (النظام الموحد)

نوع التربة	الرمز	التعريف	عمليتها في التشييد	مناسبتها كتربة تحت الأساس (عدم التجمد)	مناسبتها للسطح
حصى جيد التدريج	GW	ممتاز	ممتاز	جيد	جيد
حصى سيء التدريج	GP	ممتاز	جيد	جيد إلى ممتاز	سيء
حصى طمي	GM	سيء إلى مقبول	جيد	جيد إلى ممتاز	مقبول
حصى طينـــي	GC	سيء	جيد	جيد	ممتاز
رمل جيد التدريج	SW	ممتاز	ممتاز	جيد	جيد
رمل سيء التدريج	SP	ممتاز	مقبول	مقبول إلى جيد	سيء
طمي رملي	SM	سيء إلى مقبول	مقبول	مقبول إلى جيد	مقبول
طين رملي	SC	سيء	جيد	سيء إلى مقبول	ممتاز
طمي ضعيف اللدونة	ML	سيء إلى مقبول	مقبول	سيء إلى مقبول	سيء
طين صعيف اللدونة	CL	سيء	مقبول إلى جيد	سيء إلى مقبول	مقبول
عضوي ضعيف اللدونة	OL	سيء	مقبول	سيء	سيء
طمي عالي اللدونة	MH	سيء إلى مقبول	سيء	سيء	سيء
طين عالي اللدونة	CH	سيء جداً	سيء	سيء إلى مقبول	سيء
عضوي عالي اللدونة	OH	سيء جداً	سيء	سيء جداً إلى سيء	سيء
خشب صخري نصف متفحم	Pt	سيء إلى مقبول	غير مناسب	غير مناسب	غير مناسب

4.1 تصنيف التربة بحسب التعامل معها

بصورة عامة يمكن تصنيف الترب اعتماداً على مميز مقاومة الحفر (الجرف) والذي يرمز

له بـــ k_S. حيث تقسم الترب إلى مجموعات تحدد معالجتها آلياً أو يدوياً.

- مميز مقاومة الحفر k_s: هو نسبة القوة المماسة لمقطع أداة الحفر إلى مقطع الحفر أو الجرف. وهو يتعلق بالمميزات الهيكلية لآلية الحفر وبخواص التربة.
- ترتبط التقسيمات بنوعيات الآليات المستخدمة: من بلدوزرات وكريدرات ومجارف آلية وكاشطات وأيضاً المعالجة اليدوية بمعدات الحفر العادية.
- وبالنسبة للترب الصخرية القاسية فإن معالجتها بالمواد المتفجرة يكون الحل أكثر اقتصادياً.
- ولهذا التصنيف أهمية كبيرة جداً في تنفيذ الأعمال الترابية، وفي صناعة آليات البناء ومن خلاله نستطيع تحديد معايير تكاليف إنتاج الأعمال الترابية بشكل تقريبـــي.
- وحديثاً تم استعمال أجهزة تحدد سرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية في موقع معين، وبحسب قيم انتشار الأمواج نستطيع تحديد نوعية التربة وصعوبة التعامل معها.

* تصنف الترب في حال استخدام المجارف ذات الدلو الواحد إلى:

- المجموعة الأولى: الترب الضعيفة والهشة: يمكن معالجتها بواسطة أدوات الحفر البسيطة.
- المجموعة الثانية: الترب الثقيلة التـــي يمكن معالجتها يدوياً بواسطة المعول والفأس.
- المجموعة الثالثة: الترب الغضارية الثقيلة: تعالج بالمعول والعتلات.
- المجموعة الرابعة: الترب الصخرية الهشة: معالجتها بالمطارق والعتلات.
- المجموعة الخامسة والسادسة: الترب الصخرية القاسية: تعالج بالتفجير.

الفصل الثاني

تقنيات تنفيذ الأعمال الترابية

1.2 مقـــدمـــة

إن معظم أعمال البناء تتضمن أعمال ترابية، أي أنه من النادر أن يوجد مشروع لا توجد فيه أعمال ترابية، إذ أنها تأخذ حيزاً كبيراً من إجمالي الأعمال في المشاريع وخاصة في مشاريع السدود والطرق والسكك الحديدية والري والمطارات، وتشكل حوالي 70% من كلفة هذه المشاريع، فالتربة هنا هي موضوع العمل وهي مادة الإنتاج.

ومن المؤكد والبديهي أن الأتربة في الطبيعة ليس لها قيمة أو سعر ولكن كلفة حفرها وتحريكها ونقلها وردمها إنما هو في الواقع كلفة تشغيل واستثمار آليات الأعمال الترابية.

وإن التنظيم الجيد واستخدام الآليات المناسبة وإتباع طرائق التنفيذ التـــي تتناسب مع الآليات والظروف الموضوعية لها أهمية كبيرة في تنفيذ المشاريع وبشكل اقتصادي.

2.2 العمليات الجزئية للأعمال الترابية

إن الأعمال الترابية تتضمن أعمال جزئية يمكن تصنيفها إلى:

1. خلخلة وحفر وجرف التربة:

التربة طبيعياً ذات تماسك معين وحتـــى نتمكن من حفرها لابد من تطبيق قوة من أجل خلخلة التربة لتسهيل جرفها وعملية الحفر عملية أساسية نقوم بها من أجل الوصول إلى المنسوب المطلوب.

2. تحميل التربة:

وهي عملية تحميل التربة على آليات من أجل نقلها إلى مكان آخر وقد تكون عمل

جزئي من عملية حفر التربة حيث تقوم آليات الحفر نفسها بعملية النقل أو تكون عمل مستقل بذاته.

3. نقل التربة:

هي عملية نقل التربة من منطقة الحفر إلى منطقة الردم أو من حفر الاستعارة إلى منطقة الردم وعملية النقل يمكن أن تكون بآليات مخصصة للنقل فقط، أو بواسطة آليات حفر التربة التـــي تقوم بالنقل إضافة إلى العمليات الأخرى. ويعتبر النقل بالنسبة لها عمل تكميلي وليس أساسي.

4. تفريغ التربة:

هي عملية تفريغ التربة في أماكن الردم أو التجميع، وغالباً تعتبر عملية جزئية من عملية الحفر أو النقل.

5. ردم التربة:

هي عملية إعادة التربة وردمها، وذلك في العديد من الأعمال وخاصة في أعمال إنشاء الطرق وردم الأساسات وإنشاء السدود وإقامة الحواجز وردم الخنادق والحفر.

6. تسوية التربة:

هي عملية تستخدم بعد أعمال الردم وذلك لتمهيد طبقات السطوح العليا للحصول على شكل شبه أفقي للأرض وإعطاء المقطع الشكل المطلوب.

7. رص التربة:

هو عملية ضرورية بعد عملية الردم، والهدف منها الحصول على تربة ثابتة ذات قدرة تحمل عالية من أجل تأمين استقرار وأمان ومتانة المنشآت الترابية، ويعتمد مبدأ الرص على الإقلال من الفراغات الموجودة بين جزيئات التربة عن طريق تطبيق قدرة معينة على طبقات التربة.

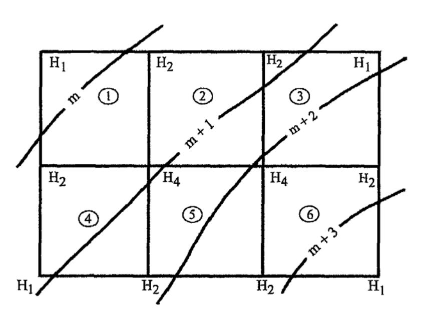
3.2 حساب حجوم الأعمال الترابية

خطوط التسوية:

هي خطوط تساوي المنسوب لمجموعة من النقاط اعتباراً من مرجع معين.

في أرض المشروع المراد تسويته هناك عدة مناسيب للأرض تحدد بخطوط تسوية، ويحمل كل خط رقم يعبر عن منسوب هذه النقاط الذي يصل بينها خط التسوية، وتتباعد خطوط التسوية بتباعدات متساوية تعبر عن درجة تقسيم هذه الخطوط ونرمز لها بـــ n.

علينا أن نختار منسوب المشروع بحيث يحقق تساوي حجوم الحفر والردم، حتـــى لا نضطر لترحيل تربة أو حفر تربة أكثر من اللازم. (الشكل 2-1).



الشكل 2-1: موقع أرض المشروع مبيناً عليه خطوط التسوية والشبكة التربيعية لحساب حجوم أعمال الحفر والردم

الخطـــوات المتبعـــة

1. تقسيم أرض الموقع إلى شبكة تربيعية:

اختيار التقسيم إلى شبكة تربيعية أو مثلثية يعود إلى تضاريس المنطقة حيث نختار الشبكة التربيعية عندما تكون تضاريس المنطقة غير معقدة وفي حال كانت معقدة فإننا نختار شبكة

متلتية.

* الشبكة التربيعية: هي عبارة عن مربعات كلما ازداد عددها أي نقص طول ضلع المربع نحصل على دقة أفضل للحسابات (وهي حسب الحاجة).

إذا كان التباعد كبير بين خطوط التسوية فإن الدقة الكبيرة لا تفيد بشكل كبير وعلينا أن نختار الشبكة التربيعية بحيث ينحصر رأس واحد للمربع ضمن خطي تسوية.

2. ترقيم زوايا ورؤوس المربعات:

يتم ترقيم المربعات وزواياها كما في (الشكل 2-1).

3. حساب المناسيب السوداء:

(مناسيب الأرض الطبيعية) لزوايا المربعات: hb تحسب المناسيب السوداء لكل زاوية من زوايا المربعات من العلاقة (2-1):

$$h_b = H_{min} + \frac{n.\ell}{L} \qquad (1\text{-}2)$$

حيث:

H_{min}: منسوب خط التسوية الأصغر بين خطي التسوية اللذين يحصران الزاوية.

n: درجة تقسيم خطوط التسوية.

ℓ: المسافة بين الزاوية حتـــى المنسوب الأصغر مقاسة على المسقط الأفقي.

L: المسافة ما بين خطي التسوية.

وتوضع هذه المناسيب على الرسم.

- بحالة خاصة قد يمر خط التسوية من زاوية المربع وعندها يكون من العلاقة (2-2):

$$H_b = H_m \qquad (2\text{-}2)$$

حيث:

H_m: منسوب خط التسوية المار من رأس المربع.

ملاحظة: إن دقة حساب h_b تنعكس على جميع الحسابات اللاحقة.

4. حساب المنسوب الوسطي للموقع H_0:

يحسب من العلاقة (2-3):

$$H_0 = \frac{4\sum h_4 + 2\sum h_2 + \sum h_1}{4N} \quad (3\text{-}2)$$

حيث:

$\sum h_4$: هي مجموع المناسب السوداء للزوايا التـــي تحصر أربع مربعات.

$\sum h_2$: هي مجموع المناسب السوداء للزوايا التـــي تحصر مربعين.

$\sum h_1$: هي مجموع المناسب السوداء للزوايا التـــي تحصر مربع واحد.

N: عدد المربعات.

5. حساب المناسيب الحمراء:

إن أرض المشروع تعطى بميل يؤخذ 0.01، ومن الممكن أن يكون الميل حول محورين لتصريف المياه السطحية عن أرض المشروع (الشكل 2-2). ويتم حساب المناسيب الحمراء لكل رأس من رؤوس المربع بالعلاقة (2-4):

$$H_R = H_0 \pm i_x \cdot \ell_x \pm i_y \cdot \ell_y \quad (4\text{-}2)$$

حيث:

H_0: المنسوب الوسطي للموقع المحسوب.

$i_x \cdot i_y$: الميل المعطى لأرض الموقع باتجاه المحور (y, x).

$e_x \cdot e_y$: المسافة ما بين رأس المربع المحسوب عن محور الدوران للميل المفروض.

حالة خاصة:

$$H_R = H_0 \Leftarrow i_x = i_y \quad (5\text{-}2)$$

6. حساب المناسيب العملية hw:

تحسب المناسب العملية لجميع رؤوس المربعات من العلاقة (2-6):

$$h_w = H_R - h_b \quad (6\text{-}2)$$

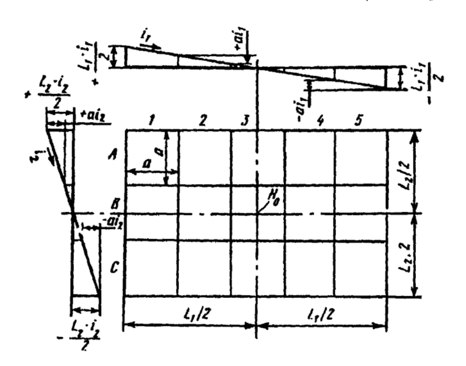
المنسوب العملي هو الفرق بين منسوب الأرض الطبيعية مطروحاً منه المنسوب الوسطي للمشروع.

$h_w < 0 \Leftarrow$ زاوية المربع تقع في منطقة حفر.

$h_w > 0 \Leftarrow$ زاوية المربع تقع في منطقة ردم.

وبالتالي نحدد على المربعات مناطق الحفر والردم لرؤوس هذه المربعات.

ملاحظة: في حال عدم وجود ميول ⇐ $h_w = H_0 - h_b$



الشكل 2-2: حساب المناسيب الحمراء بعد اعتبار ميول التصريف

7. حساب حجوم الحفر والردم:

يجب أن ينتج حجم الردم = حجم الحفر لذلك نشكل الجدول:

H_0 أو H_R	h_w يمكن وضع
h_b	رقم الزاوية

يتم تنظيم الجدول لحساب حجوم الحفر والردم كما يلي:

رقم المربع	h_{w1}	h_{w2}	h_{w3}	h_{w4}	$\Sigma\lvert h_w\rvert$	$\frac{\Sigma(h_w^+)^2}{\Sigma\lvert h_w\rvert}$	$\frac{\Sigma(h_w^-)^2}{\Sigma\lvert h_w\rvert}$	$\frac{a^2(h_w^+)^2}{4\Sigma\lvert h_w\rvert}$	$\frac{a^2(h_w^-)^2}{4\Sigma\lvert h_w\rvert}$

حيث: (انظر الشكل 2-1)

a: طول ضلع المربع.

ينظم الجدول بتطبيق العلاقة (7-2):

$$V = \frac{a^2}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (7-2)$$

8. رسم خط التوازن الصفري:

خط التوازن الصفري: هو الخط الفاصل ما بين منطقة الحفر ومنطقة الردم.

أو هو مجموعة النقاط التـــي يكون منسوب الأرض الطبيعية لها هو نفسه المنسوب الوسطي.

إيجاد خط التوازن الصفري:

1. يتم تحديد الأضلاع ذات الإشارة المختلفة سواء الشاقولية أو الأفقية.
2. وفق مقياس رسم اختياري نرسم على أضلاع المربعات المختارة المناسيب العملية لرؤوس زوايا المربعات، بحيث نتخذ جهة ما للمناسيب العملية الموجبة والجهة الأخرى للمناسيب العملية السالبة.
3. إن نقاط تقاطع خط الوصل ما بين نهايات هذه القيم مع أضلاع المربع تمثل النقطة ذات المنسوب صفر.
4. والوصل بين هذه النقاط يمثل الحد الفاصل ما بين الحفر والردم أي خط التوازن الصفري.

9. حساب حجوم الأعمال الإضافية:

الأعمال الإضافية: هي أعمال ترابية تضاف إلى الأعمال الرئيسة في تسوية موقع العمل، وذلك لأننا لا نستطيع الحفر أو الردم بشكل شاقولي وإنما نجعل ميولاً في منطقة الحفر ومنطقة الردم، وتتناسب هذه الميول مع طبيعة التربة حتـــى تستقر هذه التربة، أي أنها تتناسب مع زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المتعامل معها.

حجوم أعمال ترابية إضافية متناسبة مع عامل ميل الحفر (m_1).

حجوم أعمال ترابية إضافية لمنطقة الردم متناسبة مع عامل ميل الردم (m_2).

ويوضح (الجدول 2-1) قيم ميول الردم والحفر حسب نوع التربة.

الجدول 2-1: قيم عوامل ميول الحفر والردم حسب نوع التربة

نوع التربة	عامل ميل الحفر m_1	عامل ميل الردم m_2
ردمية غير مرصوصة	1.6	2
رملية حصوية	1.5	1.9
رملية غضارية	1.4	1.8
غضارية	1.3	1.7
سيلت	1.2	1.6

نقوم برسم الأعمال الإضافية على المسقط الأفقي مع التهشير لمنطقة الحفر والردم. ومن الجدول السابق نلاحظ أن حجوم الأعمال الإضافية للحفر: هي أقل من حجوم الأعمال الإضافية للردم وذلك لأن $m_2 > m_1$ نتيجة فقدان التماسك الطبيعي للتربة عند الردم.

إن حجوم الأعمال الإضافية: هي كتل ترابية موشورية الشكل ذات مسقط مثلثي أو شبه منحرف.

أ- حالة مثلث العلاقة (2-8):

$$V = \frac{F * h_w}{3} \qquad (8\text{-}2)$$

حيث:

F: مساحة المثلث.

h_w: المنسوب العملي.

ب- حالة شبه منحرف:

$$V = \frac{F * (h_{w1} + h_{w2})}{4} \qquad (9\text{-}2)$$

$$F = \frac{(mh_{w1} + mh_{w2})}{2} * a \qquad (10\text{-}2)$$

حيث:

F: مساحة شبة المنحرف.

يحسب حجم حفرة الأساس من العلاقة (2-11):

$$V_E = \frac{h}{6}\left[(2A' + A)\cdot B' + (2A + A')\cdot B\right] \quad (11\text{-}2)$$

حيث:

A: طول حفرة الأساس من الأسفل.

B: عرض حفرة الأساس من الأسفل.

`B: عرض حفرة الأساسات من الأعلى وتساوي: $A' = 2mh + A$

h: عمق حفرة الأساسات.

`A: طول حفرة الأساس من الأعلى وتساوي: $B' = 2mh + B$

ويتم الوصول إلى حفرة الأساسات عن طريق خندق عبور عرضه C، ويتم حساب حجم الخندق من العلاقة (2-12):

$$V_{Er} = \frac{h^2}{6}\left[3C + 2m_1 h \cdot \frac{(m'_x - m_1)}{m'_x}(m'_x - m_1)\right] \quad (12\text{-}2)$$

حيث:

`m: قيمة ميل خندق العبور ويؤخذ (10 → 4)، وتؤخذ في حال الارتفاعات الكبيرة لحفرة الأساسات مساوية لـــ 4.

m_1: عامل ميل الحفر: ويؤخذ من الجدول حسب ميل التربة المعطاة.

يترك جزء من التربة الناتجة عن حفرة الأساسات من أجل الردم العكسي على طرف الحفرة والجزء الباقي، إما أن يتم ترحيله أو يتم توزيعه على مستوى الموقع بأكمله. وبذلك يزداد المنسوب الوسطي بمقدار:

$$\Delta H = \frac{\Sigma Q}{n \cdot a^2 - F} \quad (13\text{-}2)$$

حيث:

ΣQ: مجموع حجوم التربة الناتجة عن حفر الأساسات مطروحاً منها التربة اللازمة للردم العكسي.

$$\Sigma Q = \frac{1}{3} v_E \cdot i \quad (14\text{-}2)$$

حيث:

V_E: حجم حفرة الأساس.

n: عدد المربعات.

a: طول ضلع المربع.

F: مساحة حفر الأساسات جميعها في المنسوب الوسطي للموقع وتحسب من العلاقة (15-2).

$$F = A` \cdot B` \qquad (15-2)$$

أما التربة الناتجة عن الخندق فتترك بشكل كامل للردم العكسي بعد الانتهاء من العمل.

10. حساب حجوم الأعمال الترابية عند إنشاء حفر القواعد:

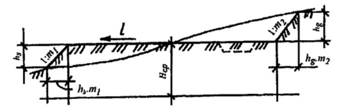
إن الطريقة المعتمدة في حساب حجوم الأعمال الترابية في هذه الحالة تعتمد على الحساب بطريقة المقاطع العرضية. حيث يتم حساب قيم المعالجة في زوايا ونقاط تقاطع محيط قعر الحفر مع خطوط التسوية. كما هو مبين (بالشكل 2-3).

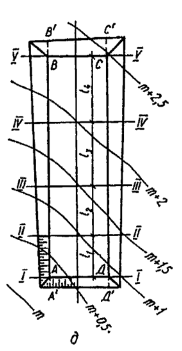
بعد ذلك تحدد قيم مساقط الميول الجانبية h. m ويتم رسمها على المخطط، ثم نقوم بوصل نهايات هذه المساقط فنحصل على حدود الميل الجانبية.

يجري الحساب على الأقسام المحدودة بين المقاطع العرضية التـــي تؤخذ على أطراف الحفرة (المقاطع I-I, V-V)، ومن نقاط تقاطع خطوط التسوية مع المحور الطولي للحفرة (II-II, III-III, IV-IV).

يحدد حجم التربة باستخدام العلاقات وفق (الجدول 2-2)، أما الميول الطرفية فهي تحسب كما في حالة التسوية الشاقولية، حيث تجزأ إلى أهرامات زاوية ومواشير انتقالية.

مع ملاحظة أنه عند وجود أساسات طويلة في الحفرة يجري تخفيض منسوب أرضية الحفرة إلى أسفل المنسوب التصميمي. وتستخدم معادلة الكمية الإضافية المحفورة من التربة في حفر الحفرة بالتربة المستخرجة من خندق الأساس الطولي.





h_B: ارتفاع منطقة الحفر m_2: عامل ميل الحفر h_s: ارتفاع منطقة الردم

m_1: عامل ميل الردم $h_s \cdot m_1$: مسقط ارتفاع الردم $hg \cdot m_2$: مسقط ارتفاع الحفر

الشكل 2-3: حساب حجوم الأعمال الترابية

حيث تحدد قيمة تخفيض المنسوب لقعر الحفرة بالعلاقة (2-16):

$$X = \frac{V_O}{F_T} \quad (16\text{-}2)$$

حيث:

X: قيمة تخفيض المنسوب m.

V_O: حجم الخندق، m^3.

F_T: مساحة أرضية الحفرة، m^2.

الجدول 2-2: (الأشكال والعلاقات اللازمة لتحديد حجوم الأعمال الترابية عند التسوية الشاقولية للحفر)

العلاقة الحسابية	الشكل	العناصر
$V = \frac{a^2}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$		مربع متشابه (موشور رباعي)
$V_E^{'} = \frac{a^2}{4}\frac{(\sum h_b)^2}{\sum \lvert h \rvert}$ $V_E = \frac{a^2}{4}\frac{(\sum h_b)^2}{\sum \lvert h \rvert}$		مربع انتقالي (حجم الردم - $V_E^{'}$) (حجم الحفر - V_E)
$V = \frac{a^2}{6}(h_1 + h_2 + h_3)$		مثلث متجانس الجوانب موشور ثلاثي
$V_1 = \frac{a^2}{6}\frac{h_1^3}{(h_1 + h_2)(h_1 + h_3)}$ $\frac{a^2}{6}\left[\frac{h_1^3}{(h_1 + h_2)(h_1 + h_3)} - h_1 + h_2 + h_3\right]$		مثلث انتقالي آ- قسم بمنسوب واحد h_1 ب- قسم بمنسوبين h_3, h_2
$V = \frac{m^2 h^3}{3}$		عناصر الميول الجانبية: آ- زاوي على شكل هرم رباعي الوجوه
$V = \frac{a}{3}\left(F_1 + \sqrt{F_1 F_2} + F_2\right) =$ $= \frac{ma}{6}\left(h_1^2 + h_1 h_2 + h_2^2\right)$		ب - جانبي قسم موشوري
$V = \frac{m_1 h^2 L}{6}$		هرم ثلاثي القاعدة
$V_{E(E')} = \frac{a^2}{4}\sum_1^n \sum_1^4 h + \sum F_{E(E')} h_{E(E')} + V_0 . E_{(E')}$ $V_{E(E')} = \frac{a^2}{6}\sum_1^n \sum_1^4 h + \sum F_{E(E')} h_{E(E')} + V_0 . E_{(E')}$		حجم سطح غير مستو مقسم لمربعات أو لمثلثات

الجدول 2-2: تابع

العناصر	الشكل	العلاقة الحسابية
قسم من حفرة يبين مقاطع متوازية		$V=\left[\frac{F_1+F_2}{2}-\frac{m_1(h_1-h_2)^2}{6}\right]L$
مســـاحة المقطع (شـــبه منحرف) مساحة مستطيل		$F=(b+m_1h)h$ $F=b\cdot h$
حفرة منفردة		$V=\frac{h}{6}[(2A+a)B+(2a+A)b]$ $V=\frac{h}{3}[(a+A)^2-aA$
خندق عبور		$V=m_1\left(\frac{bh^2}{2}+\frac{h^3m_1}{3}\right)$

11. حساب مراكز ثقل الحجم للحفر وللردم:

يحسب مركز ثقل الردم والحفر بطريقتين:

آ- الطريقة التحليلية:

حيث نعتبر كلاً من كتلتـــي الحفر والردم كتلتين مستقلتين، يجب علينا إيجاد مركز ثقل كل منهما بالنسبة للإحداثيات المفروضة.

1. نحسب مركز ثقل الحفر بالعلاقة (2-17):

$$x_E = \frac{\sum v_E \cdot x_1}{\sum v_E} \text{ ، } y_E = \frac{\sum v_E \cdot y_1}{\sum v_E} \qquad (17\text{-}2)$$

2. نحسب مركز ثقل الردم: من العلاقة (2-18):

$$y'_E = \frac{\sum v'_E \cdot y'_i}{\sum v'_E} \text{ ، } x'_E = \frac{\sum V'_E \cdot x'_i}{\sum v'_E} \qquad (18\text{-}2)$$

حيث أنه:

x_E, y_E: إحداثيات مركز ثقل الحفر.

x'_E, y'_E : إحداثيات مركز ثقل الردم.

مع الأخذ بعين الاعتبار عند تطبيق العلاقات «حجوم الأعمال الإضافية لكلا منطقتـــي الحفر والردم بإشارتها».

ب- الطريقة التخطيطية:

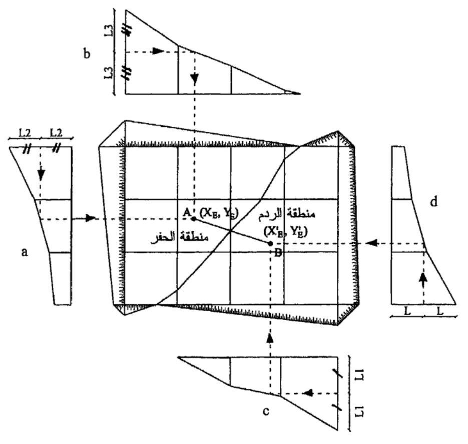
تعتمد هذه الطريقة على تجميع حجوم الأعمال في منطقتـــي الحفر والردم على مستقيمات أفقية وشاقولية، وذلك بمستقيمات أفقية وشاقولية عند كل رأس مربع وذلك على المسقط الأفقي وبحيث أن يكون الرسم بمقياس محدد. ومنها نستطيع تحديد مركزي ثقل الحفر والردم كما في (الشكل 2-4).

12. حساب المسافة المتوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم:

إن حساب المسافة المتوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم تفيد في عملية توزيع الكتل الترابية عند إجراء التسوية السطحية؛ لأن كلفة وصعوبة تنفيذ الأعمال الترابية الرئيسة لا يتعلق فقط بحجم هذه الأعمال، وإنما أيضاً بالمسافة الوسطية لنقل وتحريك التربة بين منطقتـــي الحفر والردم، ويفيد حساب هذه المسافة في اختيار طاقم الآليات اللازم للتنفيذ، وبشكل اقتصادي وفق المؤشرات الاقتصادية لعمل الآليات.

حيث يتم تحديدها كمسافة متوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم على كامل الموقع إذا كانت أبعاد الموقع ليست كبيرة، أما في كون مساحة الموقع كبيرة وتضاريس الموقع معقدة فعندها يتم تحديد هذه المسافة على أقسام مستقلة منه.

ويتم تحديد هذه المسافة بالطرق التحليلية أو التخطيطية.



a- تجميع كميات الحفر مع الحفر الإضافي بالاتجاه Y L2 = L2

b- تجميع كميات الحفر مع الحفر الإضافي بالاتجاه X L3 = L3

c- تجميع كميات الردم مع الردم الإضافي بالاتجاه X L1 = L1

d- تجميع كميات الردم مع الردم الإضافي بالاتجاه Y L = L

الشكل 2-4: الطريقة التخطيطية لإيجاد مراكز ثقل الحفر والردم والمسافة المتوسطة بين مركزي الحفر والردم $Lm = A \rightarrow B$ (هذه الطريقة تعتمد على الرسم بمقياس محدد)

آ– **الطريقة التحليلية**: وتحسب من العلاقة (2-19):

$$L_m = \sqrt{(x_E - x`_E)^2 + (y_E - y`_E)^2} \qquad (19\text{-}2)$$

حيث:

L_m: المسافة المتوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم، m.

x_E, y_E: إحداثيات مركز ثقل الحفر m.

x'_E, y'_E : إحداثيات مركز ثقل الردم m.

ب– الطريقة التخطيطية:

حيث يتم تحديد مركزي ثقل الحفر والردم، كما جاء في الطريقة التخطيطية التـــي سبق ذكرها وذلك باعتماد مقياس رسم محدد، ومن ذلك المخطط نقوم بقياس المسافة بين هذين المركزين، فنحصل على المسافة المطلوبة على المسقط الأفقي AB كما في (الشكل 2-4).

4.2 استقرار الحفر

إن تنفيذ الأعمال الترابية يتطلب تأمين الشكل والأبعاد المحددة لهذه المنشآت وذلك وفقاً للتصاميم والمخططات وبحيث تكون هذه المنشآت مستقرة ومتينة وقادرة على تحمل الحمولات والقوى المؤثرة عليها. هذا ويقترن شرط الاستقرار للمنشآت الترابية بتوازن الكتل تحت تأثير القوى الداخلية وكذلك تأثير القوى الخارجية.

وتعبر الترب التـــي تحوي على قوى احتكاك جاف فقط هي ترب غير متماسكة (الرمل مثلاً) ويحدد فيها توازن المنحدر الحدي بزاوية الاحتكاك الداخلي لها (φ).

وعند وجود جزيئات الغضار في التربة يساعد ذلك على ظهور قوى تماسك داخلي تؤدي بدورها إلى مقاومة حركة الجزيئات، وكلما زادت كمية جزيئات الغضار كلما كبرت قوى التماسك. تسمى التربة التـــي تملك قوى تماسك بين جزيئاتها بالترب المتماسكة، ويتحدد التوازن الحدي لهذه التربة ليس فقط بزاوية الاحتكاك الداخلي وإنما بقوى التماسك أيضاً.

أما التربة التـــي تكون واقعة بين المجموعتين السابقتين فتسمى بالترب الضعيفة التماسك حيث أنها بالإضافة لقوى الاحتكاك فإنها تملك قوى تماسك ضعيفة التأثير.

ويحدد (الجدول 2-3) ارتفاع الحفريات التـــي يسمح بإنشاء الحفر بجدران شاقولية وذلك تبعاً لنوعية التربة وبحيث تكون هذه التربة ذات رطوبة طبيعية.

الجدول 2-3: ارتفاع الحفريات المسموح به بجدران شاقولية حسب نوعية التربة

التربة الرملية والبحصية	1 m
تربة سيليت رملي	1.25 m
تربة سيليت غضاري	1.5 m
تربة غضارية	2 m

كما يحدد (الجدول 2-4) قيم ميول جوانب الحفر (m : 1)، والتـــي تنشأ من دون تدعيم الجوانب ولارتفاع يتراوح بين 1.5 وحتـــى 5 متر:

الجدول 2-4: الميول المسموح بها لجوانب الحفر والخنادق

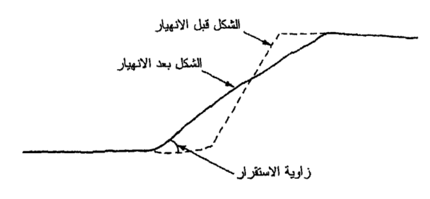
نوع التربة	عمق الحفر m					
	حتـــى 1.5		حتـــى 3		حتـــى 5	
	زاوية الانحدار بالدرجة	ميل الانحدار	زاوية الانحدار بالدرجة	ميل الانحدار	زاوية الانحدار بالدرجة	ميل الانحدار
رملية وبحصية	76	1:0.25	45	1:1	38	1:1.25
سيليت رملي	76	1:0.25	56	1:0.67	50	1:0.85
سيليت غضاري	90	1:0	63	1:0.5	53	1:0.75
غضار	90	1:0	76	1:0.25	63	1:0.5

* من أجل أعماق تزيد عن 5 m يجري تحديد ميل جوانب الحفر حسابياً

5.2 استقرار الميول

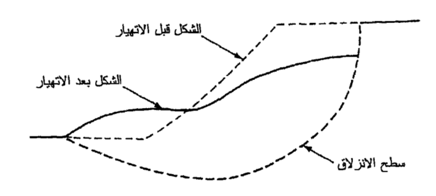
لكي يتم فهم الأشكال الرئيسية لانهيار الميول يجب فهم المفاهيم الأساسية لمقاومة التربة. وقد شملت إجراءات تعريف التربة. تصنيف التربة إلى نوع متماسك وآخر غير متماسك. التربة غير المتماسكة: هي التـــي تكون فيها حبيبات التربة غير متلاصقة، ولذلك تكون قوة القص في التربة غير المتماسكة ناتجة فقط عن الاحتكاك الحاصل بين حبيبات التربة، وتكون القوة الرأسية (أو القوة العمودية على السطح المنزلق) مطلوبة لإحداث هذه المقاومة. عندما ينهار حاجز ترابـــي مُكون من تربة حبيبية، فإنه ينهار كما هو موضح في (الشكل 2-5).

بحيث تنفصل التربة في أعلى الحاجز وتسقط إلى الأسفل وتستمر في السقوط حتـــى يكون ميل الحاجز الترابـــي مساوياً لزاوية الاستقرار للتربة.



الشكل 2-5: انهيار الميول للتربة غير المتماسكة

أما في التربة المتماسكة (والتـــي تسمى التماسك) تحدث قوة القص بشكل أساسي. بسبب التجاذب بين حبيبات التربة (تسمى تماسك). ومن الناحية النظرية إذا كانت التربة كلها من النوع المتماسك فإنه لا يحدث احتكاك بين حبيباتها. ويوضح (الشكل 2-6) الشكل النمطي لانهيار التربة عالية التماسك. ولاحظ أن كتلة كبيرة من التربة تحركت على طول سطح يسمى سطح الانزلاق. ويشابه الشكل الطبيعي لسطح الانهيار قوس قطع ناقص، ولكنه يعتبر عادة، دائرياً في تحليل استقرار التربة.



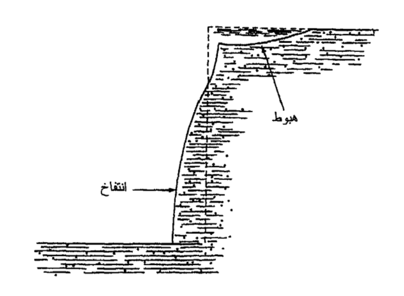
الشكل 2-6: انهيار الميول للتربة المتماسكة

1.5.2 انهيار الحاجز الترابـــي خلال التشييد

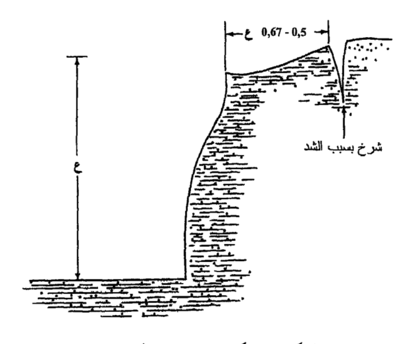
يوجد في معظم أنواع التربة التـــي يتم التشييد عليها كل من النوعين المذكورين أعلاه (المتماسك وغير المتماسك). حيث إن مقاومة القص تحدث من اشتراك الاحتكاك بين الحبيبات والتماسك. ولكن يكون سلوك التربة الطينية عالية اللدونة مشابهاً، إلى حد كبير، لسلوك التربة من النوع المتماسك.

ومن الناحية النظرية، فإن الحفر الرأسي في التربة المتماسكة يمكن أن يكون آمناً إلى عمق يعتمد على مقاومة التماسك للتربة وزاوية الاحتكاك الداخلي. ويتراوح مدى هذا العمق بين أقل من (1.5 م) للطين الناعم و(5.5 م) للطين المتوسط الصلابة. وفي الواقع، فإن العمق الآمن للطين الصلب أقل من الطين المتوسط الصلابة، لأنه يحتوي عادة، على شروخ تُضعفه. ومن الناحية العملية، فإن العمق الآمن النظري للحفر غير المُدعم في الطين يكون آمناً لفترة قصيرة فقط، لأنه عند حفر الطين فإن وزن التربة على جوانب الحفرة يسبب انتفاخ الجوانب باتجاه الحفرة (أو يتحرك للداخل عند القاع)، ويصاحبها هبوط للتربة في أعلى الحفرة، كما هو موضح في (الشكل 2-7). ويتكوّن في العادة، عند هبوط التربة في أعلى الحفرة تكوُّن شروخ بسبب الشد على سطح الأرض، كما هو موضح في (الشكل 2-8). وتحدث هذه الشروخ عادة، على بعد مسافة من حافة الحفرة تساوي نصف عمق الحفرة إلى ثلثيها. وإذا لم تدعم الجوانب فإن شروخ الشد سوف تستمر في العمق حتـــى يحصل انهيار للحاجز الترابي. ويحدث الانهيار إما بانزلاق وجه التربة إلى الحفرة (الشكل 2-9-a)، وإما بانقلاب الجزء العلوي من وجه التربة إلى الحفرة (الشكل 2-9-b).

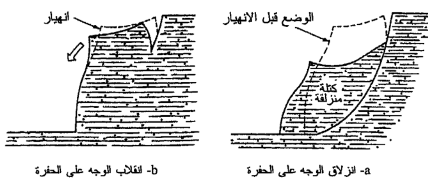
يتأثر استقرار الحاجز الترابـــي أو الحفر بعوامل خارجية. وتشمل حالة الطقس، ومستوى المياه الجوفية، ووجود حمل مثل مواد أو معدات قريبة من أعلى حافة الحاجز الترابـــي أو الحفرة، ووجود اهتزاز من معدّات أو مصادر أخرى.



الشكل 2-7: هبوط وانتفاخ



الشكل 2-8: تكون شرخ بسبب الشد



الشكل 2-9: أشكال انهيار الحاجز الترابـــي

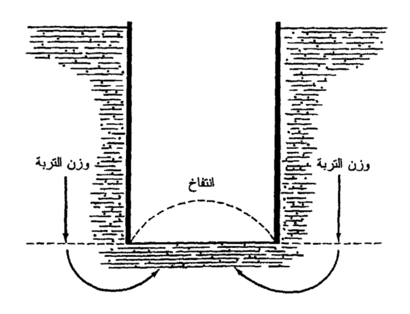
2.5.2 استقرار قاع الحفرة

عند حفر تربة متماسكة، فإن قاع الحفرة سوف ينتفخ (أو يرتفع) بسبب وزن التربة على جوانب الحفرة، ويلاحظ الانتفاخ عندما تكون جوانب الحفرة مدعّمة، كما هو موضَّح في (الشكل 2-10)؛ وبسبب وجود الماء فإنه قد تحدث حالة أكثر خطورة لعدم استقرار القاع في التربة غير المتماسكة. إذا كانت جوانب الحفرة مدعومة وقاع الحفرة أقل من مستوى الماء الأرضي، فإنه سوف يحدث سريان للماء خلال قاع الحفرة، كما هو موضَّح في (الشكل 2-11). ويقلّل سريان الماء بالاتجاه الأعلى الضغط الفعّال بين حبيبات التربة في قاع الحفرة. وينتج عنه إحدى الحالات التالية. إذا كان ضغط الماء مساوياً تماماً لوزن التربة فإن سلوك التربة سوف يشابه السائل، وتسمى هذه الحالة بالتميع (أو الرمل المتحرك). وهذا النوع من التربة لا يستطيع دعم أي حمل. وإذا كان ضغط الماء قوياً بالقدر الكافي بحيث يحرك التربة تحت قاع الحفرة إلى أعلى فإن هذه الحالة تدعى الغليان أو الفجوات الأنبوبية. وتؤدي، عادةً، هذه الحركة للتربة إلى انهيار التربة المحيطة؛ وهذا كان السبب في انهيار بعض السدود وحواجز للمياه.

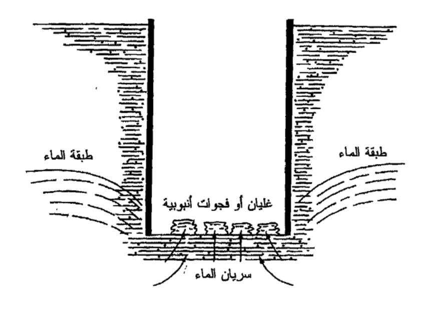
3.5.2 منع انهيار الحاجز الترابـــي

يشير تحليل أسباب انهيار ميول الحفر المذكورة سابقاً إلى طرائق يمكن استخدامها لمنع هذه الانهيارات. ويمكن للميول الجانبية أن تستقر إذا كانت ميول الجانب مساوية أو أقل من زاوية استقرار التربة، أو وضع دعامات جانبية للحفرة، ويمكن زيادة استقرار الجوانب والقاع

بواسطة سحب الماء من التربة المحيطة للحفرة. وفي الأقسام التالية سوف يتم شرح طرائق سحب الماء وحماية الحفر.

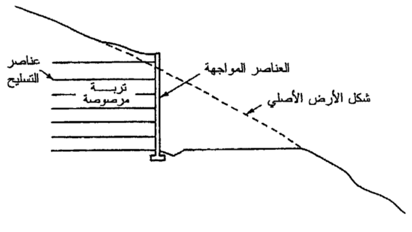


الشكل 2-10: انتفاخ قاع الحفرة



الشكل 2-11: غليان أو فجوات أنبوبية في القطاع المحفور

وللحماية الدائمة للميول مثل جوانب الحفر للطرق السريعة؛ فإنه تستخدم عادةً الحوائط الساندة. ويمكن تقوية الميول في التربة المتماسكة بواسطة زيادة مقاومة القص خلال السطح المتوقع للانزلاق. ويمكن عمل ذلك بواسطة دق أوتاد، أو إدخال أعمدة صخرية في التربة عبر السطح المتوقع للانزلاق. وتوجد طريقة أخرى لتقوية الميول تسمى «تسليح التربة». هذه إحدى الطرق معروفة تحت الاسم التجاري الأرض المسلحة. وكما هو موضّح في (الشكل 12-2) فإن تسليح التربة يتضمن إدخال عناصر لها مقاومة عالية للشد ولا تتحلّل في كتلة التربة المرصوصة. وتوصل عناصر الشد هذه بمواد تحمي جانب القطع من التآكل وتكون، غالباً، من الخشب أو الخرسانة. وعادةً ما يكون تسليح التربة أقل تكلفة من تشييد الجدران الساندة لاستقرار الميول.



الشكل 2-12: تسليح التربة

4.5.2 حماية الحُفر والعمالة

يعتبر انهيار الحفر المسبّب الرئيس لكثير من حوادث التشييد المميتة في الولايات المتحدة، حيث تصل إلى أكثر من 300 حالة وفاة سنوياً. ونظراً لتكرار وخطورة حوادث الانهيار، فإن الآوشا حددت عدداً من أنظمة السلامة لأعمال الحفر. ويمكن تفادي وضع العمال في الحُفر من خلال استخدام معدات تعمل عن بعد أو استخدام الرجل الآلي، في معظم الحالات، يُستلزم استخدام العمال، وبالتالي إتبّاع أنظمة الآوشا. ومن متطلبات هذه الأنظمة أن يحمى

العمال من انهيار الجوانب باستخدام إحدى الطرق التالية:

- تمييل جوانب الحفر.
- تدعيم جوانب الحفر باستخدام الدعائم.
- وضع حاجز بين العمال وجوانب الحفر.

والاستثناء الوحيد لهذه المتطلبات: هو عندما يكون الحفر كله في صخر مستقر، أو عمق الحفر أقل من 5 أقدام (1.524 م) وعمل اختبار للأرض بواسطة شخص مؤهل يوضّح أنه لا يوجد احتمال للانهيار. ويعرف الشخص المؤهل طبقاً للآوشا بأنه قادر على معرفة المخاطر الحاصلة والمتوقعة في المحيط المجاور أو ظروف العمل التـــي تكون غير صحية أو خطرة على العاملين، وكذلك له الصلاحية لاتخاذ الإجراء المناسب لتلافي هذه المخاطر، لتحقيق قوانين الآوشا للميول والدعائم والواقيات الخاصة، ويجب أن يتعرف على نظام تصنيف الصخر والتربة الذي أعدته الآوشا والموضّح في (الجدول 2-5). وتصنف التربة والصخر في هذا النظام على أنهما صخر مستقر أو نوع (أ) أو نوع (ب) أو نوع (ج).

5.5.2 الميول والتدرج

ويوضّح (الجدول 2-6) قواعد الآوشا لتحديد أقصى ميول مسموح بها لجوانب الحفرة عندما تكون الميول منتظمة، وعمق الحفرة أقل من 20 قدم (6.1 م) في حالة وجود عمالة داخلها. ويجب ملاحظة الاستثناءات المذكورة في أسفل الجدول.

6.2 تخفيض مستوى المياه الجوفية

سحب المياه: هي عملية إزالة الماء من الحفر. ويمكن سحب المياه قبل البدء في أعمال الحفر بواسطة تخفيض مستوى الماء الأرضي. وتستخدم هذه الطريقة، غالباً، في وضع خطوط الأنابيب في المناطق التـــي يكون فيها مستوى الماء الأرضي عالياً. أو يتم الحفر أولاً، ثم يسحب الماء من الحفرة كلّما تقدّم العمل. ونتيجة كلتا الطريقتين يخفض مستوى الماء الأرضي في منطقة الحفر بواسطة ضخه من الأرض. ويجب أن يؤخذ بعين الاعتبار أن تخفيض مستوى الماء قد ينتج عنه هبوط للتربة في المنطقة المحيطة. وهذا وقد يؤدي إلى هبوط الأساسات أو انهيار الأساسات في المبانـــي القريبة من منطقة الحفر.

الجدول 2-5: نظام الآوشا لتصنيف التربة والصخر

النوع	التعريف
صخر مستقر نوع (أ)	- مواد معدنية طبيعية يمكن حفرها بحواف رأسية، ولا تتأثر هذه الحواف خلال فترة تعرضها للحمولات الجانبية للوزن الذاتـي وللحمولات الجانبية. - تربة متماسكة لها مقاومة الانضغاط غير المحاط (unconfined compressive strength) يساوي 1.5 طن/سنتيمتر أو أعلى. وأمثلة التربة المتماسكة هي طين وطين طمي وطين رملي وطين طفل، وفي بعض الحالات طفل طينـي رملي. وتعتبر التربة السمنتية مثل الكاليش (نترات الصوديوم) أو هاردبان (طبقة طينية صلدة) من نوع (أ) إذا كانت: 1- التربة متصدعة. أو 2- إذا كانت التربة تتعرض للاهتزاز من مرور ثقيل، أو دق أوتاد أو تأثيرات مماثلة. أو 3- إذا كانت التربة مقلقلة سابقاً. أو 4- إذا كانت التربة جزءاً من نظام طبقات مائلة على الحفر بميول 4 أفقي إلى 1 رأسي (4أ : 1ر) أو أكثر. 5- المادة تتعرض لعوامل أخرى تجعلها تصنف على أنها مادة أقل استقراراً.
نوع (ب)	نوع (ب) يعنـي: 1- تربة متماسكة لها مقاومة الانضغاط أعلى من 0.5 طن/سنتيمتر وأقل من 1.5 طن/سنتيمتر. 2- تربة غير متماسكة حبيبية تشمل حصى ذا زوايا (مثل الصخر المكسور)، وفي بعض الحالات تشتمل على طين أو طين رملي. 3- التربة التـي سبق حرثها أو حفرها ما عدا التـي تصنف من نوع ج. 4- التربة التـي تحقق مقاومة الانضغاط لنوع (أ)، ولكنها متصدعة أو تتعرض لاهتزازات. 5- الصخر الجاف غير المستقر. 6- إذا كانت التربة جزءاً من نظام طبقات مائلة على الحفرة بميول أقل من 4 أفقي إلى 1 رأسي (4أ : 1ر) بشرط أن تصنف المادة على أنها من نوع (ب).
نوع (ج)	نوع (ج) يعنـي: 1- تربة متماسكة: لها مقاومة الانضغاط غير المحاط تساوي 0.5 طن/سنتيمتر. أو 2- تربة حبيبية، وتشمل حصى ورملاً ورملاً طفلياً. 3- تربة مغمورة أو تربة يستطيع الماء أن يتسرب إليها بسهولة. أو 4- صخر مغمور غير مستقر. أو 5 مواد في نظام طبقات مائلة على الحفرة بميول تساوي 4 أفقي إلى 1 رأسي (4 أ : 1ر) أو أعلى.

الجدول 2-6: الميول القصوى المسموح بها لجوانب الحفرة طبقاً للآوشا

نوع التربة أو الصخر	أقصى ميول مسموح (أ:ر) للحفر التـــي عمقها أقل من 20 قدماً (6.1 م)
صخر مستقر	رأسي (90°)
نوع أ	(53°) 1 : 0.75
نوع ب	(45°) 1 : 1
نوع ج	(34°) 1 : 1.5

* أ: أفقي، ر: رأسي.

** إذا كانت المدة قصيرة (24 ساعة أو أقل)، فإنه يسمح أن تكون الميول 0.5 أ : 1 ر (63) في الحفر لنوع تربة (أ) التـــي يكون عمقها 12 قدماً (3.67 م) أو أقل. وإذا كان عمق الحفر أكثر من 4 متر (3.67 م)، ولمدة قصيرة فإن الميول المسموح بها 0.75 أ : 1 ر (53).

وفي حالة أن الحفرة أعمق من 6.1 متر، فيجب أن تصمم الميول أو التدرج بواسطة مهندس متخصص.

العيوب الرئيسة للميول والتدرج لجوانب الحفر هي المسافة المطلوبة لقاع الحفرة إضافة إلى الميول الجانبية.

يعتمد اختيار طريقة سحب المياه المناسبة على طبيعة الحفر ونفاذية التربة، وتعتمد نفاذية التربة، أو سهولة سريان الماء في التربة، على توزيع مقاس حبيبات التربة. وقد وجد أن قطر جزيئات التربة التـــي هي أصغر من 90% من حبيبات التربة (أي 10% من جميع حبيبات التربة أصغر من المقاس الحبيبـــي المحدد) يعتبر قياساً فعّالاً لنفاذية التربة. ويعرف هذا المقاس لحبيبات التربة بمقاس الحبيبات الفعّال ويمثل الرمز D_{10}. ويوضِّح (الجدول 2-7) أساليب سحب المياه المناسبة بناءً على مقاس حبيبات التربة الفعّال. لاحظ أن الصرف بقوة الجذب (استخدام المضخة ونقاط الآبار) يعتبر فعّالاً عندما يكون مقاس الحبيبات الفعّال للتربة حوالي 0.1 مم (المطابق لمقاس منخل رقم 150) أو أكبر.

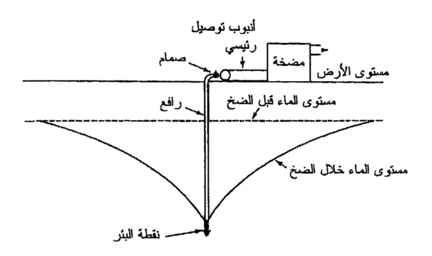
الجدول 2-7: أساليب سحب المياه المناسبة بناءً على مقياس حبيبات التربة الفعّال

مقاس الحبيبات الفعّال (D_{10})	أسلوب سحب المياه
أكبر من 0.1 مم	خزان تصريف أو نقاط آبار (Wellpoint)
0.1 – 0.004 مم	آبار فراغية أو آبار نقطية
0.004 – 0.0017 مم	النضح الكهربائي

* منخل رقم 150 يطابق فتحة مقدارها 0.1 مم

1.6.2 أنظمة نقاط الآبار

يوضّح (الشكل 2-13) استخدام آبار نقطية قياسية لسحب المياه من منطقة قبل الحفر. من الناحية التقنية، فإن نقطة البئر: هي تركيبة مثقبة توضع في أسفل الأنبوب الداخل للبئر. وقد أخذت اسمها من النقطة في قاع البئر المستخدمة لإدخال الأنبوب الداخل للبئر. ومن الناحية العملية، فإن مصطلح بئر نقطي يستخدم عادةً، لتحديد كل بئر في نظام سحب مياه مكوَّن من عدد من الآبار القريبة من بعضها. ويتم ذلك بضخ الماء إلى أسفل من خلال الرافع والبئر النقطي ليفكك ويُسيل الرمل حول نقطة البئر. وتحت هذه الظروف تغوص نقطة البئر تحت تأثير وزنها إلى العمق المطلوب. وتُغوص نقاط بئر أخرى في خط يحيط حول منطقة الحفر وتوصل بأنبوب رئيسي. والأنبوب الرئيسي المستخدم في هذا النظام هو أنبوب يتكون من نقاط توصيل متسلسلة مع صمامات. وبعد أن تكون جميع الآبار النقطية في مكانها وتمّ توصيلها بالأنبوب الرئيسي فإن الأنبوب الرئيسي يوصل بمضخة طرد مركزي ذاتية التشغيل مجهزة بمخرج هواء. وبما أن الماء من نقاط البئر يسحب بخلق فراغ جزئي عند مدخل المضخة، فإن أقصى ارتفاع للماء يمكن أن يسحب بالمضخة تقريباً أقل من 32 قدماً (9.8 م). وفي الواقع فإن أقصى عمق فعال لسحب المياه هو حوالي 6.1 متر تحت سطح الأرض. وعادةً تكون المسافة بين الآبار النقطية من (0.6 - 3.1 م)، وتعطى تدفقاً من (11 - 114 لتر/دقيقة) لكل بئر نقطي. وإذا كان البئر النقطي موضوع في رمل ناعم، فإنه قد يحتاج إلى وضع مرشح رمل خشن حول نقطة البئر ليقلل من تسرب الرمل الناعم إلى داخل البئر. وإذا كان من الواجب تقليل مستوى الماء الأرضي إلى أكثر من 6.1 متر، فإن مرحلة واحدة للآبار النقطية سوف تكون غير فعالة. وفي هذه الحالة، فإنه يمكن استخدام مستويين أو أكثر لنقاط البئر (تدعى مراحل). والعيب الرئيسي لهذه الطريقة هو المساحة الواسعة المطلوبة لهذه المراحل. وعلى سبيل المثال، فإن تخفيض مستوى الماء على ارتفاع (11 م) باستخدام مرحلتين مع استخدام جوانب حاجز ترابي بميل 1 إلى 2 ويسمح بمسافة قدرها (1.5 م) لكل مضخة، يحتاج إلى مسافة عرضية مقدارها (25 م) في كل جانب من جوانب الحفر. ويمكن استخدام مضخات نافورية أو غاطسة بدلاً من استخدام آبار نقطية على مراحل لرفع الماء من الآبار.



الشكل 2-13: نظام آبار نقطية لسحب المياه

2.6.2 الآبار الفراغية

الآبار الفراغية: هي نقاط بئر محكمة الإغلاق عند السطح بواسطة حلقة من البنتونايت أو الطين حول غلاف البئر. وتوصل مضخة تفريغ إلى أنبوب التوصيل الرئيسي. وبسبب فرق الضغط الحاصل بين البئر والماء الأرضي المحيط فيه، فإن الماء سوف يسرع بالجريان إلى البئر. وإذا كانت التربة ناعمة الحبيبات، فإنه قد يحتاج إلى تركيب مرشح رملي حول نقطة البئر والأنبوب الرافع.

3.6.2 تخفيض منسوب المياه الجوفية باستخدام طريقة التشرد الكهربائي

التشرد الكهربائي: هو عملية تحريض جريان الماء خلال التربة بواسطة استخدام تيار كهربائي مباشر. ومع أن ظاهرة النضح الكهربائي قد اكتشفت في بداية القرن التاسع عشر إلا أنها لم تستخدم في التشييد إلا في عام 1939. هذه الطريقة مناسبة للتربة غير النفاذة نسبياً مثل الطمي والطين، والتـــي يكون مقاس الحبيبات الفعّال بها بمقدار 0.0017 مم.

الطريقة المعتادة لاستخدام النضح الكهربائي في سحب المياه أن تكون الآبار على مسافات حوالي (10.7 م) وتدخل قضبان أرضية بين كل زوجين من الآبار. ثم يوصل كل بئر بالطرف السالب لمصدر تيار مباشر (DC)، ويوصل كل قضيب أرضي بالطرف الموجب. ويستخدم فولت مقداره (4.9 إلى 13 فولت/م) طبقاً للمسافة بين البئر والقضبان، وينتج عن

ذلك زيادة لجريان الماء إلى البئر. يجب أن لا يزيد الفولت المستخدم عن (39 فولت/م) لتفادي فقد الطاقة بسبب الحرارة. وينتج عن استخدام تيار مقداره 15 إلى 30 آمبير لكل بئر احتياج للطاقة مقداره 0.5 إلى 2.5 كيلووات لكل بئر.

ويمكن معرفة فاعلية النضح الكهربائي بمقارنة جريان الماء الناتج من الفولت الكهربائي والناتج من القوى الهيدروليكية العادية. وتشير الحسابات لطين له نفاذية متوسطة أن تياراً كهربائياً مقداره (10 فولت/م) يكافئ معدل انحدار هيدروليكي مقداره (50 قدم/قدم). للحصول على معدل انحدار هيدروليكي مقداره 50 م/م باستخدام الآبار الفراغية فإنه يحتاج إلى أن تكون المسافة بين الآبار (0.3 قدم). وتعطى هذه الحسابات مقياساً للزيادة الكبيرة في جريان الماء التـــي يمكن الحصول عليها باستخدام النضح الكهربائي في التربة ضعيفة النفاذية مقارنة بالطرق الهيدروليكية العادية.

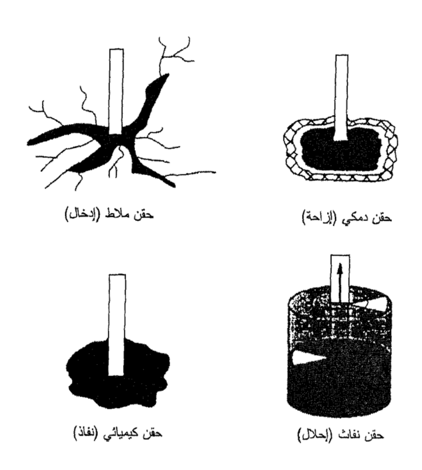
7.2 الحقــن

الحقن أو الحقن الضغطي: هو عملية حقن لمادة في التربة أو الصخر لزيادة مقاومتها أو استقرارها، أو لحماية الأساسات، أو لتقليل جريان الماء الأرضي. ويستخدم بكثرة في تشييد الجسور والأنفاق. ويحدد احتياج الحقن بواسطة طرق الاختبار مثل الثقب المجوَّف والاختبارات البصرية لحفر الاختبار. ويمكن استخدام اختبارات الضغط التـــي تقيس جريان الماء خلال أنبوبة حقن تكون موضوعة ومحكمة الإغلاق في حفرة اختبار لقياس الحاجة إلى الحقن وقياس فعالية الحقن. وقد أدت التطورات الحديثة في مادة الحقن وطرقه إلى زيادة استخدامه في التربة. وتشمل أساليب الحقن، الحقن الغطائي والحقن الحاجب والحقن الخاص. يغطي الحقن مساحة أفقية كبيرة بعمق (15 م) أو أقل. ويُحدث الحقن الحاجب منطقة حقن خطية عميقة وضيقة وقد تصل إلى عمق (30 م) أو أكثر. وتستخدم، عادة، كحاجز عميق لجريان الماء تحت السدود. يستخدم الحقن الخاص لأغراض خاصة مثل تقوية الصخر أو التربة حول الأنفاق أو تعبئة الفراغات في الصخر أو توفير مساندة إضافية للأساسات.

1.7.2 أساليب الحقن

تشمل الأنواع الرئيسة للحقن على حقن ملاط وحقن كيميائي وحقن إزاحة وحقن

نفاث، (الشكل 2-14).



الشكل 2-14: أنواع الحقن

يتضمن حقن الملاط بحقن ملاط يتكون من ماء ومادة حقن في التربة أو الصخر. وتشمل مواد الحقن الشائعة الإسمنت البورتلاندي والطين التجاري (بنتونايت) والرماد المتطاير والرمل والجير والإضافات الأخرى. إن حقن التربة بانتظام بالإسمنت البورتلاندي قادر على اختراق الحصى والرمل الخشن بكفاءة. ويستطيع الإسمنت الناعم جداً (إسمنت ناعم الطحن) أن يخترق بفاعلية الرمل المتوسط والناعم. ويمكن حقن الملاط للتحكم في انتفاخ الطين ولاستقرار التربة ضعيفة المقاومة مثل الطمي والتربة المجروفة والتربة المشبعة.

ويتضمن الحقن الكيميائي حقن مواد كيميائية في التربة. وتستخدم، بشكل أساسي، في

الرمل والحصى الناعم لالتصاق جزيئات الرمل مع بعض، لدعم المنشأة أو للتحكم في سريان الماء. إن الاختيار المناسب للحقن الكيميائي والإضافات التـــي تعطي تحكماً دقيقاً في وقت تصلب مادة الحقن.

الحقن الدمكي: هو عملية حقن ملاط قاسٍ جداً في التربة لرص وتقوية التربة. وتشمل مواد الحقن الرمل الطينـــي والإسمنت والرماد المتطاير والإضافات والماء، ويستطيع الحقن الدمكي أن يخلق انتفاخات حُقنية أو أوتاد حُقنية في التربة لزيادة كثافة التربة ودعم الأساسات. ويمكن استخدام الحقن الدمكي لرفع الأساسات الهابطة إلى وضعها الأصلي.

يستخدم في الحقن النفاث أنبوبة نفث دوّارة لإزالة التربة المحيطة بأنبوب الحقن واستبدالها بمادة الحقن. ونتيجة لذلك، فإن هذه التقنية فعّالة لمدى واسع من أنواع التربة تشمل الطمي وبعض أنواع الطين. وقد تصل مقاومة الضغط للتربة المحقونة (17.000 MPa).

2.7.2 طرائق عملية الحقن

تتضمن الطريقة الرئيسة لحقن المادة في الصخر ثقب حفرة، ويدخل فيها أنبوب حقن مجهز بحشوة محكمة قابلة للانتفاخ. وتحقن المادة في العمق المطلوب. تشمل طرق حقن مادة الحقن في التربة دق أنبوب حقن في التربة، ووضع أنبوبة مثل الكُم في التربة، والحقن النفاث. يوضح (الشكل 2-15) الحقن بطريقة أنبوب كُمي. لاحظ أن أنبوبة الحقن مجهزة بأكمام تغطي فتحات على مسافات في الأنبوبة. وفائدة هذه الأكمام أنها تعمل كصمام تحكم، لتسمح بمرور مادة الحقن خارج الفتحة فقط وتمنع عودها. وتفيد الحشوة المنتفخة في توجيه جريان مادة الحقن خلال الفتحات المرغوبة.

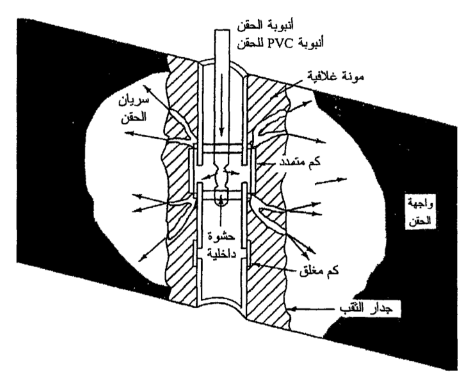
ويجب أن يتم اختيار أفضل مادة حقن ونظام حقن بواسطة مُتخصص ذي خبرة في الحقن. ويتطلب عادة، عمل الحقن واختباره قبل اختيار نظم الحقن. ويجب الحرص لتفادي استخدام ضغط حقن يؤدي إلى رفع سطح الأرض، إلا إذا كان ذلك مرغوباً.

8.2 الحماية من الانهيارات وتثبيت جدران الحفريات والخنادق

إن اختيار نوع تثبيت جدران الحفريات يتعلق بالأمور التالية:

- نوع التربة.

- رطوبة التربة.
- عمق الحفرية.
- تواجد المياه الجوفية.



الشكل 2-15: الحقن باستخدام الأنبوب الكُمي

يمكن أن تكون جدران التثبيت شاقولية عندما تكون التربة ذات طبيعة متماسكة، ولا تتجاوز رطوبتها الحدود الطبيعية، ولا وجود للمياه الجوفية، وتكون ارتفاع الحفريات في حدود الارتفاعات المسموح فيها كما هو مبين في (الجدول 2-8).

وبخلاف هذا يجب إعطاء ميول للجدران أو القيام بحمايتها من الانهيارات بواسطة هياكل تثبيت خاصة.

ويُحدَّد نوع هياكل التثبيت حسب:

- أبعاد الحفرية.
- خواص التربة التكنولوجية.

- ظروف موقع العمل.
- تواجد المياه الجوفية.

الجدول 2-8: الميول المسموح بها لجوانب الحفر والخنادق

نوع التربة	عمق الحفر m					
	حتى 1.5		حتى 3		حتى 5	
	زاوية الانحدار بالدرجة	ميل الانحدار	زاوية الانحدار بالدرجة	ميل الانحدار	زاوية الانحدار بالدرجة	ميل الانحدار
رملية وبحصية	76	1:0.25	45	1:1	38	1:1.25
سيليت رملي	76	1:0.25	56	1:0.67	50	1:0.85
سيليت غضاري	90	1:0	63	1:0.5	53	1:0.75
غضار	90	1:0	76	1:0.25	63	1:0.5

تصنَّف طرائق التثبيت لجدران الحفر حسب الهياكل المستخدمة إلى ما يلي:

- التثبيت بواسطة الدعامات المائلة.
- التثبيت الوتدي.
- المثبتات الظفرية.
- المثبتات الجائزية.
- المثبتات الظفرية الجائزية.
- تثبيت الجدران الشاقولية للخنادق بالشكل الهيكلي.

1.8.2 التثبيت بواسطة الدعامات المائلة

يتألف الهيكل المبين في (الشكل 16-2-a) من:

1. دفوف خشبية أفقية:

تشكل الدفوف دعامات أفقية وتؤخذ بسماكة 5-7 cm، وتكون على كامل سطح الحفرية، وتكون متباعدة إذا كانت التربة متماسكة والعمق للحفرية لا يتجاوز 3 m وليس هناك مياه جوفية.

2. دعامة مائلة:

تكون من الخشب إما مورينة مقطعها مستطيل أو دائري بقطر لا يقل عن 5 cm والتباعدات فيما بينها تتناسب وارتفاع الحفرية.

3. عارضة شاقولية:

تصنع من الخشب أو المعدن بقطر لا يقل عن 5 cm، ويكون الرأس السفلي مدبب حتـــى تستطيع أن تنغرس في التربة ومسافة الغرس لا تقل عن 15 cm.

4. وتـــــد:

يوضع في نهاية الدعامة المائلة، ويقوم بدور مثبت للجملة، ويغرس في التربة بمقدار 50 cm.

5. عارضة تثبيت:

توضع في أعلى الدعامة المائلة، ويكون مقطعها مستطيل، وتكون مثبتة على عوارض شاقولية بواسطة مسامير وبشكل جيد.

* إن استخدام مثل هذه الطريقة محدود، لأن الدعامات المائلة تتوضع داخل الحفرية، مما يسبب إعاقة تنفيذ الأعمال اللاحقة.

2.8.2 التثبيت الوتدي

يتألف الهيكل المبين في (الشكل 16-2-b) من:

1. دفوف خشبية أفقية:

تعتبر دعامات أفقية للتربة وتكون بسماكة 7 cm - 5 وعرض 25 cm على كامل سطح الحفرية.

2. عارضة شاقولية:

مصنوعة من الخشب بقطر لا يقل عن 7cm وتباعدات حوالي 2m فيما بينها. تغرس في داخل التربة بعمق لا يقل عن 1m، وتكون بارزة من الأعلى حوالي 30cm عن سطح أعلى الحفرية فيكون طولها:

$$L = h + 1m + 30cm \qquad (22\text{-}2)$$

حيث:

h: ارتفاع الحفرية.

3. شداد معدنـــي:

يربط بين العارضة الشاقولية والوتد، كما في (الشكل 16-2-b)، ويكون مشدود بشكل جيد، وحتـــى لا يعيق الحركة، فإنه ينفذ أحياناً على عمق بسيط داخل التربة.

4. وتـــد:

يدق داخل التربة خارج الحفرية بمسافة تحدد من العلاقة (23-2):

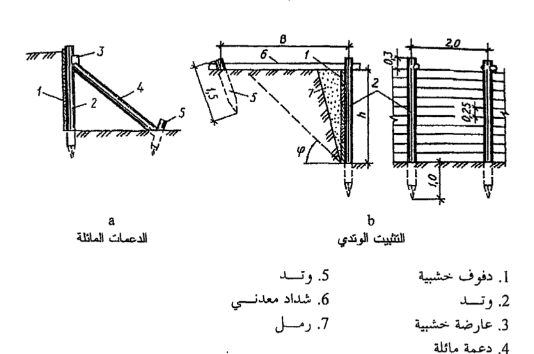
$$B \geq h \cdot tg\,\varphi \qquad (23\text{-}2)$$

حيث:

φ: زاوية الميل الطبيعي للتربة ويختلف باختلاف نوع التربة ويؤخذ من جداول خاصة.

h: عمق الحفرية.

ويكون طول الوتد 1.5 m ويدق القسم الأكبر في التربة.



1. دفوف خشبية
2. وتـــد
3. عارضة خشبية
4. دعمة مائلة
5. وتـــد
6. شداد معدنـــي
7. رمـــل

الشكل 16-2: تثبيت جدران الحفر والخنادق

3.8.2 المثبتات الظفرية

تكون هذه المثبتات مصنوعة من المعدات، ولها ثلاث أشكال رئيسية:

1. مسطّحة: كما في (الشكل 17-2-a-I).
2. محدّبة: كما في (الشكل 17-2-a-II).
3. بشكل حرف Z: كما في (الشكل 17-2-a-III).

تتميز هذه المثبتات بأنه يمكن استخدامها عدة مرات في كل الظروف الخاصة التـــي تتميز بها التربة وبأعماق مقبولة، وبالأخص بالنسبة للتربة الحاوية على مياه جوفية، والتـــي لا نريد تخفيض منسوب المياه الجوفية فيها.

ويمنع استخدام هذه المثبتات في الترب الصخرية، بل تستعمل في الترب الرخوة، لنتمكن من سهولة تركيبها ودقها في التربة بشكل سريع وسهل، كما أنها تتميز بأن أظفارها ذات متانة عالية وقدرة كبيرة على تحمل الحمولات الناتجة من ضغط التربة على جوانب الحفرية.

أما تركيبها فيحتاج إلى آلات خاصة، وباستخدام جميع الأشكال بحسب شكل الحفرية المطلوب تنفيذها، وتكون متراصّة بأسنان تتداخل مع بعضها البعض تشكل حاجز ذو متانة عالية كما أنها تغرس في التربة من الأسفل بمسافة لا تقل عن 1m.

4.8.2 المثبتات الجائزية (الشكل 17-2-b)

يتألف الهيكل من:

1. دفوف خشبية:

تكون ملاصقة لجسم التربة، وتكون إما على كامل جسم التربة أو على تباعدات بمقدار عرض دف واحد من الدفوف، وذلك إذا كانت التربة متماسكة بشكل معقول.

أما السماكة فتؤخذ حوالي (5-7)cm إذا كانت الحفرية لا تتجاوز 4m، وإلا فهناك حسابات يقوم بها المهندس لتصميم هذه الدفوف.

2. عوارض شاقولية:

وهي عبارة عن مورينات شاقولية، وتعتبر أوتاد إذا ما غرست في جسم التربة من الأسفل بحوالي 0.75 m، أما بالنسبة لمقاسات مقطعيها العرضي (5×5)cm، إذا لم يتجاوز

ارتفاع الحفرية 4 m، وإلا هناك حسابات لتصميم هذه العوارض، بحيث تتحمل القوى المطبقة عليها وكذلك تصميم المسافات التـــي يجب أن توضع عندها العوارض.

3. عوارض أفقية: جائز عرضي:

هي أيضاً مورينات خشبية بنفس مواصفات الخشب للعوارض الشاقولية، وتوضع على تباعدات شاقولية بمقدار m (0.75-0.6) فيما بينها.

5.8.2 المثبتات الظفرية الجائزية

تستخدم للحفريات الضيقة، وقليلة العمق.

1. الأظفار المعدنية:

تكون بشكل حرف I يتم زرعها على محيط الحفرة والتباعدات فيما بينها 50cm، وتغرس في التربة على عمق m (5 - 3).

2. عوارض خشبية:

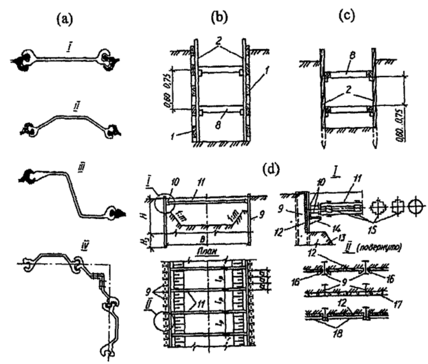
تكون بسماكة cm(7-5) وتركّب ما بين الأظفار المعدنية خلف عوارضها، وعندما تكون الحفرة أكثر من m (4-3) يتم إحاطة الأظفار المغروسة بحزام معدنـــي من البروفيل I هنا يمكن تغيير نوع الحرف حتـــى يظهر بالشكل المناسب وعليه تركب الجوائز المعدنية المنـــزلقة.

6.8.2 تثبيت الجدران الشاقولية للخنادق بالشكل الهيكلي

يشبه إلى حد بعيد تثبيت جدران الحفريات بالطريقة الظفرية الجائزية ويمكن استخدام المثبتات الأفقية، والتـــي تتضمن فراغات كما في (الشكل 17-2-b).

لتثبيت جدران الخنادق التـــي لا يزيد عمقها على 3 m، وفي التربة المتماسكة والتـــي لا يوجد بها مياه جوفية.

عندما يزيد عمق جدران الخنادق على 3 m وحتـــى 5 m، يتم وضع الجدران الأفقية على سطح الجدار الشاقولي بكامله.



a- المثبتات الظفرية متعددة الاستخدام
b- المثبتات الجائزية
c- المثبتات الجائزية بدون فتحات
d- المثبتات الجائزية – الوتدية

1. دفوف خشبية	10- حزام معدنـــي	15- صفائح تقوية
2. وتـــد	11- وصلة متحركة	16- إسفين
8. جائز عرضي	13- حبل الحفر	17- طبقة بيتون
9. وتد معدنـــي	14- ذراع	18- عوارض خشبية

الشكل 2-17: المثبتات الظفرية

الفصل الثالث

مكننة عمليات الأعمال الترابية

1.3 مقــدمــة

تلعب عوامل كثيرة في اختيار آليات البناء، وهي عوامل فنية واقتصادية واستثمارية مع عدم إهمال الأمر الهام وهو الأمر الاقتصادي، وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة في اختيار آليات البناء.

2.3 العوامل المؤثرة في اختيار آليات الأعمال الترابية

1. الآليات القياسية وغير القياسية:

- الآليات القياسية: هي الآليات التـــي تصنع بمواصفات معينة، وبأعداد كبيرة (تستعمل في كل المشاريع).
- الآليات غير القياسية: هي التـــي يتم تطويرها وتصنيعها لإنجاز عمل ذي طبيعة خاصة (تستعمل فقط هناك).

ويتم الاختيار وفق التحليل الاقتصادي للنوعين.

2. كلف الامتلاك:

إن امتلاك أي آلية يكلف مصاريف معينة بغض النظر عن الاستخدام مثل: (التأمين – ضرائب – رسوم – التخزين – الاهتلاك)، لذلك يجب تحليل الأمور بدقة إذ أنه قد يكون استئجار الآلية أقل كلفة من امتلاكها.

3. قطع الغيار:

إن الحصول على قطع غيار للآلية بحيث لا تسبب توقف عملها، وبالتالي لا تسبب توقف في بعض الأعمال ضمن المشروع. والحصول على قطعة الغيار بسهولة يعد عاملاً رئيسياً وهاماً.

4. كلفة التشغيل:

هي عبارة عن كلفتـــي وقود الاشتعال + زيت التزليق للآلية بالإضافة إلى أجرة السائق أو مشِّغل الآلية.

- ومن العوامل الهامة التـــي تؤثر في كلفة التشغيل هي المدة التـــي تستعمل بها الآلية بأعلى قدرة خلال ساعة عمل. وعادة لا تستعمل أعلى قدرة للآلية طوال فترة التشغيل، بل لفترات محدودة حسب طبيعة الآلية.

- فمن أجل حساب ما تستهلكه الآلية من الوقود في الظروف القياسية نتبع ما يلي:

1. تحتاج الآليات التـــي تعمل بالبنـــزين إلى (0.23) ليتر لكل وحدة حصانية بالساعة.

2. تحتاج الآليات التـــي تعمل بالديزل إلى (0..15) ليتر لكل وحدة حصانية بالساعة.

أما كمية زيت التزليق لأي آلية (مازوت – بنـــزين) تعتمد على:

حجم المحرِّك – سعة الحوض – حالة المكابس في المحرك – عدد الساعات بين تغيرات الزيت

يغير الزيت من 100 – 200 ساعة عمل، وأحياناً كل 50 ساعة حسب ظروف العمل ويتم حساب كمية الزيت وفق العلاقة (3-1):

$$g = \frac{c}{t} + \frac{0.0027 * f * hp}{0.89} \qquad (1\text{-}3)$$

حيث:

hp: القدرة الحصانية (حصان).

C: سعة حوض المحرك (ليتر).

F: معامل تشغيل الآلية.

t: عدد الساعات بين تبديل الزيت وآخر.

5. وزن الآلية:

يعدُّ وزن الآلية مؤشراً هاماً حسب نوع عملها، فقد يكون الوزن الكبير لها مؤشراً جيداً وقد يكون مؤشراً سيئاً والعكس صحيح. وذلك حسب نوعها وطبيعة عملها، ونميز للآليات عموماً الأوزان التالية:

* وزن الآلية التصميمي.
* وزن الآلية الاستثماري: وهو عبارة عن وزن الآلية التصميمي + مواد استثمارية + أوزان إضافية.
* الوزن القائم على العجلات.
* وزن الآلية في حال تنقلّها.
* ضغط الآلية على سطح مكان العمل.

6. أبعاد الآلية:

تتصف الآلية بأبعاد عامة، وبأبعاد عملية خاصة بالعمل.

تكون الأبعاد الأساسية للآلية ثابتة، ويفضَّل دائماً أن تكون في حدّها الأدنى، وأن تكون في حدود الأبعاد القياسية.

أما الأبعاد العملية للآلية الخاصة بالعمل فتحدّد كي تكون في المجال الأدنى الكافي والمناسب لاستطاعة الآلية وإنتاجيتها، حتى لا يؤدي إلى انخفاض إنتاجيتها وفعالية عملها.

7. إنتاجية الآلية:

تعبر عن كمية إنتاج الآلية خلال واحدة من الزمن وتقدّر بـ م3/ سا أو م2/ سا أو طن/ سا حسب عمل الآلية، ونميّز ما يلي:

أ- الإنتاجية التصميمية: وهي الإنتاجية النظرية عند العمل على السرعات الحسابية التصميمية للآلية.

ب- الإنتاجية الفعلّية: وهي الإنتاجية العملية عند العمل المستمر للآلية في ظروف معينة.

ج- الإنتاجية الاستثمارية: وهي الإنتاجية الفعلية للآلية في ظروف استثمار معينة، تتعلق بدرجة الاستفادة من زمن العمل وتنظيمه ومهارة السائق، وظروف العمل بشكل عام.

8. درجة تعقيد الآلية:

وتحدد عادة بكمية القطع، والعقد الأساسية ووزن الآلية أيضاً.

9. قابلية إصلاح الآلية:

وتحدد بسهولة فك المجموعات والأجزاء والعقد والقطع في الآلية وبسهولة ودقة تركيبها.

10. خدمة الآلية:

يعبر عن خدمة الآلية بعمرها، ويقدر بالسنوات أو بعدد ساعات العمل الفعلية.

11. موثوقية الآلية:

وتعبر عن قدرة الآلية على العمل المستمر دون أعطال مع الحفاظ على المؤشرات الاستثمارية للآلية وهي:

الإنتاجية – الاستطاعة – سرعات الحركة – استهلاك الوقود والزيت – الطاقة الكهربائية

12. قوة الجر وسرعة الحركة:

تعبر عن إمكانية الآلية في التغلب على مقاومة الحركة عند العمل وعند صعود الميول.

13. درجة تقنية (تكنولوجية) التصميم:

وتعنـــي تناسب تصميم الآلية للشروط الفنية مع الحفاظ على المواصفات الاستثمارية المطلوبة والموثوقية، وتؤثّر على جودة الآلية وثمنها.

14. درجة تقييس التصميم وتوحيده:

تعنـــي دراسة فعالية هذه الآلية وفق تصميمها، ودراسة إمكانية التحسين.

3.3 الأسس الهندسية للآلات

1. أسس حساب الاستطاعة الميكانيكية:

تحسب من مخططات توضّح كيفية توزع الاستطاعة في أجزاء الآلية المختلفة.

2. مقاومة الدحرجة:

إن المقاومة التـــي تجابهها أي مركبة، تتحرك على طريق أو سطح ما تسمى مقاومة الدحرجة.

وتتغير هذه المقاومة بتغير نوعية السطح وطبيعته، وتكون مقاومة الدحرجة في التربة الرخوة أكثر منها في السطح الصلد. وتختلف حسب الظروف الجوية المختلفة أو اختلاف في نوعية التربة على طول الطريق وتقدر بـــ k/t ولإيجاد مقاومة الدحرجة لطريق معين تستخدم المعادلة (2-3):

$$R = \frac{P}{W} \qquad (2\text{-}3)$$

حيث:

R: مقاومة الدحرجة (k/ t)

P: قوة الشد في السلك (كرانك) k.

W: الوزن الكلي للحافلة t.

3. تأثير درجة ميل الطريق في جهد الجر المطلوب:

وجد أن جهد الجر المطلوب لتحريك مركبة على سطح منحدر يزداد، أو يقل حسب اتجاه الحركة بمقدار (10 كغ لكل 1 طن) من وزن المركبة ولكل (0.01) من انحدار السطح.

4. تأثير انحدار السطح في تعيين موقع حفرة الإمداد:

يجب أن تُختار حفرة الإمداد بمنسوب أعلى من موقع الردم، بحيث يساعد ذلك على القدرة في زيادة حمولتها (الشاحنة) من ناحية وزيادة سرعتها من ناحية أخرى.

5. معامل الجر:

يعرف بأنه ذلك المعامل الذي إذا ضرب بالوزن الكلي المطبَّق على الدواليب القائدة، نتج عن ذلك أعلى جهد للجر بين الدواليب والسطح الملامس لها قبل انزلاق تلك الدواليب.

6. تأثير الارتفاع في أداء المحركات:

بسبب ارتفاع الآلية عن سطح البحر، وجد أن المحركات ذات الأشواط الأربعة (الضخمة) تفقد (0.03) من قوتها، كلما ارتفعنا (300) م بعد الـــ (300) م الأولى من سطح البحر، وذلك بسبب نقص الأوكسجين مع زيادة الارتفاع عن سطح البحر.

والمحركات ذات الشوطين (السيارات العادية)، فإن الفقدان من قوتها يعادل (0.01) من القدرة الحصانية، كلما ارتفعنا (300م) بعد الـــ (300م) الأولى من سطح البحر.

ويمكن التغلب على الفقدان في القدرة الحصانية بتزويد المحرك بجهاز صغير يضغط الهواء داخل المحرك، وبالتالي يعوّض عن قلة نسب الأكسجين وعلى أي ارتفاع.

7. تأثير الحرارة والضغط على القدرة الحصانية في أداء المحركات:

يمكن حساب القدرة الحصانية الفرملية للظروف القياسية بالعلاقة (3-3):

$$H_c = H_0 \cdot \frac{P_S}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T_S}} \qquad (3\text{-}3)$$

حيث:

H_c: القدرة الحصانية المعدلة للظروف القياسية (القدرة الحصانية الفرملية).

H_0: القدرة الحصانية المقاسة من التجربة.

P_s: الضغط الجوي القياسي = 760

P_0: الضغط الجوي الحقيقي المقاس من التجربة.

T_0: درجة الحرارة المطلقة الحقيقية = درجة الحرارة وقت التجربة + 273

T_s: درجة الحرارة المطلقة للظروف القياسية = 288

وبالتالي وجد أن أداء الآليات يقل في مواسم الحر، ويزداد أداؤه بانخفاض درجات الحرارة.

8. قوة الجر المختـــزرة:

تعرف قوة الجر للجرارات المجترزة بأنها قوة الجر الكلية التـــي يمكن للجرار تطبيقها على الأحمال المربوطة به من أجل جرها، وتقدّر بالـــ كغ.

9. جـــر الإطـــار:

يعرف جر الإطار بأنه قوة الجر بين دواليب القيادة المطاطية للجرار المدولب، وسطح الطريق الذي يسير عليه، ويمكن إيجاد جر الإطار بالعلاقة (3-4):

$$\text{جر الإطار (كغ)} = \frac{\text{الكفاءة} * \text{القدرة الحصانية} * 272.2}{\text{السرعة (كم/ سا)}} \qquad (4\text{-}3)$$

الكفاءة تعطى $0.8 \rightarrow 0.85$

4.3 أسس حساب إنتاجيات الآليات

1. مفهوم الإنتاجية:

تعبر عن كمية المنتج خلال واحدة الزمن. كمية المنتج تتعلق بطبيعة مادة العمل فمثلاً بأعمال الحفر: وحدة حجمية 3 m.

2. دورة عمل آليات البناء:

تقسم آليات البناء من ناحية عملها إلى:

- آليات ذات عمل دوري: (بلدوزر – حفارة آلية (باكر مثلاً)).
- آليات ذات عمل مستمر: الحفارة متعددة الأوعية. آليات التسوية (كريدر – سكرير).

وفي الحالتين فإن الدورة: هي الفترة الزمنية لمجموع أزمنة العمليات التـــي تقوم بها الآلية في العلاقة (3-5).

$$T = \sum t_i \qquad (5\text{-}3)$$

حيث:

t_i: هو زمن العملية i.

3. أشكال الإنتاجيات لآليات البناء:

الإنتاجية التصميمية Q_0 – الإنتاجية الفنية Q_T – الإنتاجية الاستثمارية Q_e

أ- الإنتاجية التصميمية Q_0:

هي الإنتاجية النظرية القصوى التـــي يمكن للآلية تحقيقها فقط في ظروف العمل المثالية، أي الظروف التـــي صممت الآلية بموجبها (ثبات العملية الإنتاجية)، وتحسب من العلاقة (3-6):

$$Q_0 = v \cdot n \qquad (6\text{-}3)$$

حيث:

v: الكمية المنتجة خلال دورة العمل الواحدة.

أو: الحجم النظري للوعاء المنتج خلال دورة عمل واحدة (م^3/ دورة).

n: عدد دورات العمل في واحدة الزمن وتحسب من العلاقة (3-7):

$$n = \frac{1}{\sum t_i} \quad \text{(دورة/ ثانية)} \qquad (7\text{-}3)$$

دورة عمل الآلية: هي مجموع الأزمنة الجزئية التـــي تستغرقها الأعمال الجزئية، لإنتاج كمية معينة.

ب- الإنتاجية الفنية Q_T:

هي الإنتاجية القصوى الممكنة والفعلية التـــي تحقّقها الآلية خلال العمل المتواصل في ظروف محددة آخذين بالاعتبار السرعات الفعلية للعمل، والعوامل الفنية الأخرى المؤدية إلى زيادة الفترة الزمنية لدورة العمل. وتحسب من العلاقة (3-8):

$$Q_1 = Q_0 * k_1 * k_2 * k_3 \quad (8-3)$$

حيث:

Q_0: الإنتاجية التصميمية.

k_1: معامل يأخذ بعين الاعتبار التوقفات الطويلة خلال العمل لأسباب تنظيمية وفنية منسوبة لوردية العمل الواحدة (عطل – صيانة...).

k_2: معامل يأخذ بعين الاعتبار نوع التربة وصعوبة التعامل معها (ظروف العمل في استخدام آلية واحدة أو أكثر).

k_3: يعبر عن مهارة السائق وظروف المناخ والرؤيا.

تعبر هذه العوامل عن ظروف التشغيل، وعن درجة الاستفادة من الآلية، وعن طبيعة مواد العمل. ويمكن أن تكون هذه العوامل أكبر من الواحد، لكنها غالباً أصغر من الواحد بحيث تكون الإنتاجية الفنية دائماً أصغر من الإنتاجية التصميمية.

يتم تحديد هذه العوامل عن طريق الجداول الخاصة للآلية أو عن طريق خبرات المهندسين.

ج- الإنتاجية الاستثمارية Q_e:

وهي الإنتاجية الفعلية التي تحققها الآلية ضمن شروط العمل الواقعية، وتحسب من العلاقة (3-9):

$$Q_e = Q_t * k_1 * k_2 * k_3 \quad (9-3)$$

تتعلق هذه العوامل بشروط الاستثمار الفعلية حيث:

Q_t: الإنتاجية التصميمية.

k_1: معامل يأخذ بعين الاعتبار التوقفات الطويلة خلال العمل، لأسباب تنظيمية وفنية منسوبة لوردية العمل الواحدة (عطل – صيانة...).

k_2: معامل يأخذ بعين الاعتبار نوع التربة، وصعوبة التعامل معها (ظروف العمل في استخدام آلية واحدة أو أكثر).

k_3: يعبر عن مهارة السائق وظروف المناخ والرؤيا.

الفصل الرابع

تقنية تنفيذ الأعمال الترابية

1.4 مقـــدمـــة

تمثل الأعمال الترابية نسبة كبيرة من أعمال المشاريع الهندسية المختلفة، وتعتبر من الأعمال الهامة التـــي تعتمد بشكل كبير على عملية اختيار الآليات وتنظيم عملها واختيار طواقم متناسبة ومنسجمة وتحقيق العمل الأمثل والاستغلال الأمثل للزمن.

2.4 الآليات المستخدمة في الأعمال الترابية

1.2.4 الجارف الآلية العميقة

1. تعريف:

هي آليات هندسية تقوم بإجراء الحفر (خنادق – صرف صحي – حفريات مختلفة – حفريات أعمال المقالع)، وتعتبر آليات مخصصة بخلخلة التربة وفصلها عن كتلتها الأساسية ونقلها مسافة محدودة وتحميلها على آليات النقل أو في مكان قريب ضمن مجال عملها، كما يمكن أن تقوم بتفريغ التربة من آليات النقل.

وتتعلق مسافة النقل بالمتحوِّلات المكوِّنة لمعدّات الحفر، وهي عبارة عن:

1. نصف قطر الحفر.
2. نصف قطر التفريغ.
3. الارتفاع والعمق الأعظمي للحفر.
4. زاوية الدوران.

2. البنيـــة:

تتألف من ثلاثة أقسام رئيسة:

آ – الهيكل الحامل:

والذي يكون مرتكزاً على جنازير، ليؤمن الاستقرار للمجرفة والارتكاز على الأرض؛ أو يرتكز على دواليب مطاطية، تؤمن لها سرعة الحركة والانتقال في الورشة وعلى الطرق.

تعمل المجارف المتحركة على دواليب فوق الطرق المعبّدة لأعمال الحفر المختلفة، وتكون سعة سطل الحفر بحدود 1 م^3، وباستطاعة محرك حتـى 100 كيلو وات، وبوزن تشغيل بحدود 15 طن.

أما بالنسبة للمجارف المتحركة على جنازير، فهي تعمل في مجالات عدة، ومنها على سبيل المثال:

- مجارف أعمال إنشاء جسم الطريق:

هي مجارف مختلفة وفق طبيعة الأعمال وتكون من الأنواع التالية:

- مجارف الأعمال الخفيفة:

تستخدم المجارف ذات استطاعة محرك بحدود 65 كيلو وات، ووزن تشغيل بحدود 15 طن وسعة سطل حفر من 0.35 م^3 إلى 1 م^3 وبأعماق حفر من 4 م حتـى 6 م للقيام بالأعمال الخفيفة.

- مجارف الأعمال المتوسطة:

تستخدم المجارف ذات استطاعة محرك بحدود 110 كيلو وات، ووزن تشغيل بحدود 24 طن، وسعة سطل حفر من 1 م^3 حتـى 1.75 م^3، وعمق حفر حتـى 8 م، للقيام بالأعمال المتوسطة.

- مجارف الأعمال الصعبة:

تستخدم المجارف ذات استطاعة محرك بحدود 195 كيلو وات، ووزن تشغيل بحدود 45 طن، وسعة سطل حفر من 2 م^3 حتـى 3 م^3، وعمق حفر من 6 م وحتـى 9 م، للقيام بالأعمال الصعبة.

- مجارف الأعمال الشديدة الصعوبة:

تستخدم المجارف ذات استطاعة محرك بحدود 295 كيلو وات، ووزن تشغيل بحدود

75 طن، وسعة سطل حفر بحدود 5 م^3، وعمق حفر حتـــى 10 م، من أجل الأعمال شديدة الصعوبة.

- مجارف المقالع الخاصة بتأمين مواد التكسير:

تستخدم في هذا المجال نوعان من المجارف:

النوع الأول: باكر للجرف والتحميل

يتم استخدامه في مجال أعمال الحفر ضمن المقلع، وتجميع المواد وتحميلها، ويمكن تصنيف هذا النوع ضمن الفئات التالية:

1. مجارف الأعمال المتوسطة الصعوبة:

وتستخدم مجارف باستطاعة محرك بحدود 445 كيلو وات، ووزن تشغيل 40 طن، وسعة سطل الجرف بحدود 7 م^3، وعمق حفر حتـــى 7 م.

2. مجارف الأعمال الصعبة:

تستخدم مجارف باستطاعة محرك بحدود 550 كيلو وات، ووزن تشغيل 175 طن، وسعة سطل الجرف بحدود 18 م^3، وعمق حفر حتـــى 10 م.

3. مجارف الأعمال الشديدة الصعوبة والإنتاجية العالية:

تستخدم مجارف باستطاعة محرك بحدود 1030 كيلو وات، ووزن تشغيل 310 طن، وسعة سطل حفر بحدود 25 م^3، وعمق حفر حتـــى 10 م.

النوع الثانـــي: باكر للجرف والتحميل والتفريغ (فتحة تفريغ السطل من الأسفل)

يتم استخدامه في مجال أعمال الغرف والجرف والتحميل والتفريغ ضمن المقلع، وهو مزود بسطل جرف أمامي مع تفريغ من الأسفل، ويمكن تصنيف هذا النوع على الفئات التالية:

1. مجارف الأعمال المتوسطة الصعوبة والإنتاجية:

تستخدم مجرفة باستطاعة محرك بحدود 295 كيلو وات، ووزن تشغيل 80 طن، وسعة سطل الجرف بحدود 5 م^3.

2. مجارف الأعمال الصعبة:

تستخدم مجارف باستطاعة محرك بحدود 445 كيلو وات، ووزن تشغيل 120 طن، وسعة

سطل الجرف بحدود 7 م^3.

3. مجارف الأعمال الشديدة الصعوبة والإنتاجية العالية:

تستخدم مجارف باستطاعة محرك بحدود 550 كيلو وات، ووزن تشغيل 180 طن، وسعة سطل تعبئة بحدود 10 م^3.

4. مجارف الأعمال المتميّزة والإنتاجية العالية:

تستخدم المجارف باستطاعة محرك بحدود 1030 كيلو وات، ووزن تشغيل 310 طن، وسعة سطل تعبئة بحدود 17 م^3.

3. أعمال التكسير باستخدام المجارف ذات المطارق الهيدروليكية:

حيث يمكن تركيب مطرقة هيدروليكية بدلاً عن وعاء الحفر، ومجهزة برأس تكسير على الجرفة، وبما يتفق مع نوعية العمل المطلوب.

أنواع المطارق الهيدروليكية:

تكون المطارق الهيدروليكية على قياسات مختلفة تتناسب والجرفة المراد التركيب عليها وبما يتفق مع نوعية العمل المطلوب وفقاً لما يلي:

1. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 350 كغ، ويمكن استخدامها مع المجارف ذوات الأوزان ما بين 5 طن، و8 طن.
2. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 500 كغ، ويمكن استخدامها مع المجارف ذوات الأوزان ما بين 7 طن، و12 طن.
3. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 750 كغ، ويمكن استخدامها مع المجارف ذوات الأوزان ما بين 8 طن، و14 طن.
4. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 1 طن، ويمكن استخدامها مع المجارف ذوات الأوزان ما بين 12 طن، و20 طن.
5. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 1.3 طن، ويمكن استخدامها مع المجارف ذوات الأوزان ما بين 17 طن، و26 طن.
6. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 1.7 طن، ويمكن استخدامها مع المجارف ذوات الأوزان

ما بين 19 طن، و32 طن.

7. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 2.2 طن، ويمكن استخدامها مع المحارف ذوات الأوزان ما بين 25 طن، و40 طن.
8. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 3 طن، ويمكن استخدامها مع المحارف ذوات الأوزان ما بين 32 طن، و55 طن.
9. مطرقة هيدروليكية: بوزن تشغيل 3.8 طن، ويمكن استخدامها مع المحارف ذوات الأوزان ما بين 40 طن، و80 طن.

4. باكر حفر الأقنية:

يمكن تركيب سطل حفر بشكل مغراف، لعمل أقنية التصريف الظاهرية ذات الشكل الخاص.

آ- باكر قلع الأشجار:

يمكن تركيب مجموعة قمط على ذراع الباكر تستخدم في قلع الأشجار ونقلها.

ب- هيكل محمول:

تستطيع من خلاله المجرفة الدوران حول محور شاقولي بمقدار 260° (دورة كاملة).

ح- تجهيزات الجرف:

وتتألف من:

1- وعاء الجرف (الحفر): والذي يعطي قياس المجرفة.

2- الأذرع والمفاصل.

3- آلية التحريك: يمكن أن تكون ميكانيكية أو هيدروليكية. وتعتبر المجرفة الهيدروليكية أفضل من الناحية الاقتصادية.

وآلية التحريك تتضمن: المحركات والأسلاك والمكابس الهيدروليكية، ويمكن أن تعمل المحركات على الديزل أو الكهرباء أو الاثنين معاً.

د- الأبعاد الهندسية الأساسية للمجارف:

إن الأبعاد الأساسية للمجرفة هي ما يلي:

1- طول السارية التـــي تحرك رأس المجرفة.

2- حجم المجرفة للمجرفة.

3- الارتفاع الأقصى للحفر (عمق الحفر): وهو فرق الارتفاع بين الأرض التـــي تقف عليها المجرفة، وأعلى نقطة في منطقة الحفر.

4- نصف القطر الأعظمي للحفر.

5- نصف القطر الأعظمي لتفريغ التربة.

6- الارتفاع الأقصى لتفريغ التربة.

تعريف العمق الأمثل الأفضل للحفر: وهو العمق الذي إذا عملتْ به المجرفة، فإن السطل يمتلئ دفعة واحدة ويعطي أكبر إنتاجية، أما إذا زاد الارتفاع أو نقص فإن إنتاجية المجرفة سوف تنقص.

هـ- التصنيـــــف:

1. حسب الوظيفة:

آ- مجرفة عامة: تستخدم في أعمال متعددة مثل:

إنشاء الحفر والخنادق والأقنية.

ب- مجرفة خاصة: وهي متخصصة لنوعية معينة من الأعمال، ولا يمكن استخدامها في أعمال أخرى مثل:

مجرفة المقالع – المجارف العائمة – مجرفة المناجم والأنفاق.

2. حسب تجهيزات الجرف:

آ- مجرفة أمامية.

ب- مجرفة خلفية

ج- مجرفة لاقطة.

د- مجرفة ذات دلو مسحوب.

هـ- مجرفة مزودة بمعدات لتسوية الميول والأرضيات.

و- مجرفة مزودة بأسنان لخلخلة التربة.

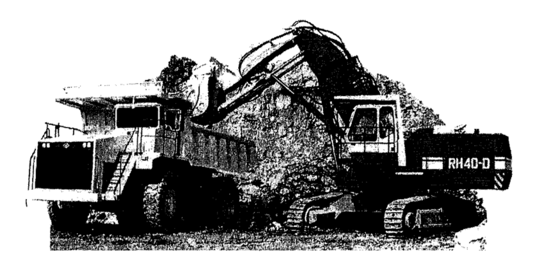
ز- مجرفة مزودة بتجهيزات ومعدّات لسبر التربة.

ل- مجارف مزودة بمعدات لتحطيم الحجارة الكبيرة.

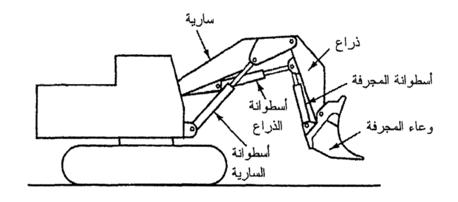
1.1.2.4 أنواع المجارف العميقة وطريقة عملها

أولاً- المجرفة الأمامية:

ترتكز على منسوب أخفض من منسوب الحفر أو منسوب الأرض الطبيعية بحيث تتم عملية الحفر من الأسفل للأعلى وباتجاه الأمام، كما هو موضح في (الشكلين 4-1 و 4-2).



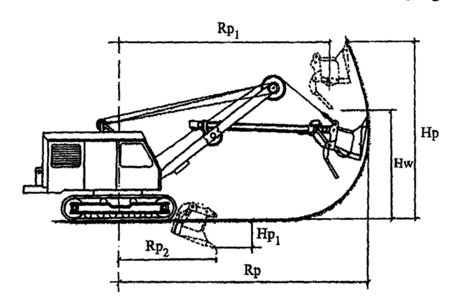
الشكل 4-1: المجرفة الأمامية



الشكل 4-2: مكونات المجرفة الأمامية الهيدروليكية

أما طريقة تحريك الوعاء، فتتم بطريقة ميكانيكية عن طريق شد الكابلات أو عن طريق ضغط هيدروليكي، وهيكل الآلية قابل للدوران حول محور عمودي على أجهزة الحركة.

إن ذراع وعاء الحفر يتحرك بالاتجاهات الأربعة وقابل للدوران بالاتجاه اليميني واليساري الذي يحقق مرونة للحركة، يبين (الشكل 4-3) الأبعاد الهندسية التي توضح كيفية عمل المجرفة الأمامية.



Hp: ارتفاع الحفر الأعظمي **Rp: نصف قطر الحفر الأعظمي**

Hp_1: عمق الحفر **Rp_2: نصف القطر الأصغري للحفر**

الشكل 4-3: الأبعاد الهندسية لعمل المجرفة الأمامية

تستخدم المجرفة الأمامية من أجل التربة الجافة أو الترب ذات الرطوبة الطبيعية.

وعلى اختلاف أنواع المجارف الأمامية، فإنه يتم اختيار سعة الوعاء للمجرفة الأمامية، حيث هو عامل أساسي في زيادة إنتاجيتها. وذلك يتعلق بحجم الأعمال المراد تنفيذها، وعمق الحفرية ونوعية التربة وتتراوح سعة الوعاء من m^3(3 - 0.25).

وإذا سمحت ظروف موقع العمل باختيار مثل هذه الآليات، فإنها تتميز بإنتاجية عالية عن إنتاجية مختلف الأنواع الأخرى من المجارف.

وتتم اختيار حركة عمل المجارف الأمامية على أساس المقارنة بين عرض موقع العمل المراد

تنفيذه ونصف القطر الأعظمي للمجرفة الأمامية المستخدمة، فنميّز المسارات التالية كما في (الشكل 4-4) والعلاقة (4-1):

$$L_n \leq R_{max} - R_{min} \quad (1-4)$$

حيث أنّه:

L_n: هي مسافة انتقال المجرفة بين نقطتـــي تمركز.

R_{max}: نصف قطر الجرف الأعظمي.

R_{min}: نصف قطر الجرف الأصغري للمجرفة.

يتم اختيار حركة عمل المجارف الأمامية على أساس المقارنة بين عرض موقع العمل المراد تنفيذه ونصف القطر الأعظمي للمجرفة المستخدمة، فنميّز المسارات التالية:

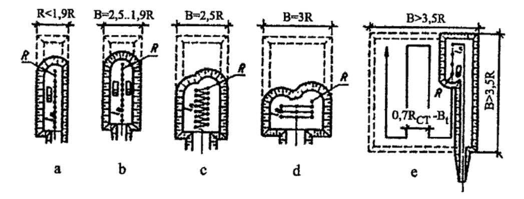
a- مسار جبهي بتحميل من طرف واحد.

b- مسار جبهي والتحميل من طرفين.

c- مسار زكزاك.

d- مسار عرضي مماسي.

e- مسار جبهي ومن ثم جانبـــي.



الشكل 4-4: مسارات الجرف للمجرفة الأمامية

ومن أجل الدخول للموقع يصار إلى إنشاء خندق عبور بميل (0.1-0.15) أما عرضه فيؤخذ من m (3-3.5) وذلك إذا ما كان يخدم باتجاه واحد.

إن عملية الحفر بالمسار الجبهي باستخدام المجارف الأمامية يكون وفق (الشكل 4-4-a, b)

وذلك بتحميل النواتج من الأتربة من طرف واحد أو طرفين وذلك إذا ما كان عمق الحفر مناسباً للآلية حيث يحدد العمق الأعظمي للخندق بالعلاقة (4-2):

$$h \le H_B - (h_T + 0.5) \qquad (2\text{-}4)$$

حيث:

h: العمق الأعظمي للخندق.

H_B: ارتفاع التفريغ.

h_T: ارتفاع القلاّب عن سطح الأرض.

0.5: المسافة الصغرى بين سطح وعاء القلاّب ووعاء الآلية.

في حال لم تحقق العلاقة السابقة، وكان لابد من استخدام هذه الآلية فلابد من عملية الحفر على أقسام، حيث تكون ارتفاع كل من الأقسام محققة للعلاقة السابقة، أما بالنسبة للعرض الأعظمي للحركة الجبهية للمجرفة الأمامية، فتحدّد بالعلاقة (4-3):

$$B_\ell \le 2\sqrt{R^2 + L_n^2} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث:

B_ℓ: العرض الأعظمي للحركة الجبهية للمجرفة.

R: نصف قطر المجرفة (m).

L_n: مسافة انتقال المجرفة (m).

وبالنسبة للحفريات العريضة > 3.5 R يكون العمل بمسار جبهي، ومن ثم يستمر العمل بهذه الحركة حتـــى نهاية جبهة العمل، ثم نتحرك الآلية بمسار عرضي، ويكون العرض الأعظمي ويحدد العرض الأعظمي لكل مسار بالعلاقة (4-4):

$$B_b = B_\ell + 0.7\, R_{CT} \qquad (4\text{-}4)$$

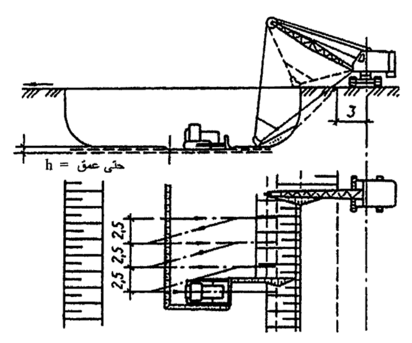
حيث:

B_b: العرض الأعظمي للمسار.

R_{CT}: نصف القطر الأعظمي للمجرفة.

ومن الناحية التقنية لأعمال الحفر فإنّه لا يجوز القيام بالحفر حتـــى العمق المطلوب h وإنما

يجب الإبقاء على ارتفاع مقداره 30 cm في أغلب الأحيان، ويصار إلى حفر هذه الكمية بواسطة البلدوزر أو الغريدر، أو أن تكون هذه المجرفة مجهّزة بتجهيزات خاصة. (الشكل 4-5).



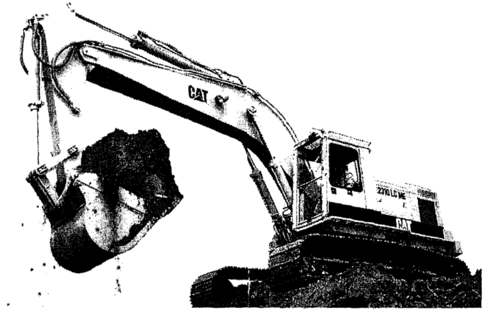
الشكل 4-5: طريقة عمل البلدوزر لحفر الطبقة المتبقية h للحفرة المنجزة من قبل المجرفة ذات الدلو المسحوب وهذه الطريقة مطبقة لجميع آليات الحفر

ثانياً– المجرفة الخلفية:

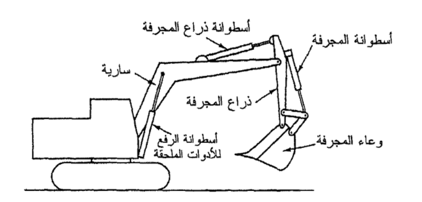
تستخدم المجرفة الخلفية المبينة في (الشكل 4-6) لجرف التربة الموجودة تحت مستوى سطح ارتكاز الهيكل الحامل، ودون الحاجة للنـــزول إلى الخندق، تستخدم المجارف ذات استطاعة محرك بحدود 65 كيلو وات، ووزن تشغيل 15 طن، وسعة سطل حفر من 0.35 م^3 إلى 1 م^3، وبأعماق حفر من 4 م وحتـــى 6 م للقيام بالأعمال الخفيفة. (الشكل 4-7).

تقوم المجرفة الخلفية بحركة مماسية أو جانبية لحفر الخندق، وبوجود المجرفة في مستوى أعلى من مستوى الحفر. وكذلك يكون مستوى المجرفة الخلفية أعلى من مستوى تحميل ناتج الحفر على قلاّبات بحيث يكون القلاّب موجود في مســـتوى الحفر وأخفض من مســـتوى ارتكاز

المجرفة، ويكون اختيار استخدام مثل هذه المجارف معتمداً على أن موقع العمل يسمح بذلك، والمجرفة الخلفية أكثر فاعلية من أجل إنشاء الخنادق والحفر غير الكبيرة.



الشكل 4-6: المجرفة الخلفية

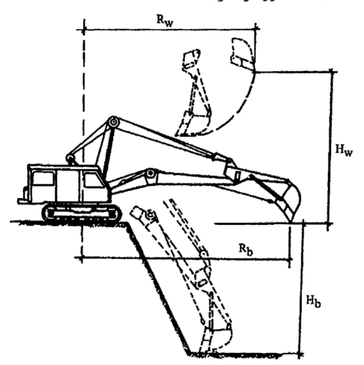


الشكل 4-7: مكونات المجرفة الهيدروليكية الخلفية

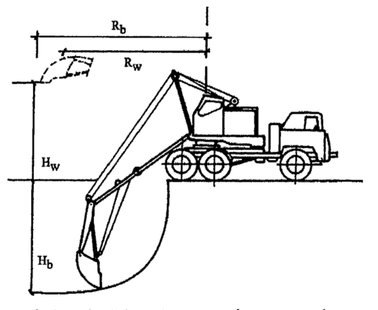
تستخدم المجرفة الخلفية عندما تكون التربة رطبة، وأيضاً من أجل التربة المبلّلة (الرطبة بشكل كبير).

تزود المجرفة الخلفية بذراع مع مفاصل ويتصل بنهايته سطل الحفر، حيث يقوم السطل

بالحفر من أسفل لأعلى ومن الأمام إلى الخلف ويوضح (الشكل 4-8) و(الشكل 4-9) الأبعاد الهندسية للمجرفة الخلفية المجنـــزرة والمدولبة.



الشكل 4-8: يبين الأبعاد الهندسية لعمل المجرفة الخلفية المجنـــزرة

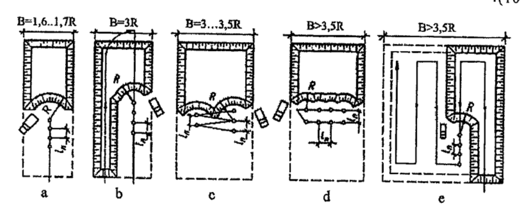


الشكل 4-9: يبين الأبعاد الهندسية لعمل المجرفة الخلفية المدولبة

وإنّ أهم الأمور المتعلقة في تحديد حركة الجرفة الخلفية هي:

1. مواصفات تجهيزات الجرفة.
2. عمق الحفر.
3. عرض الخندق.

وتحدد مسارات حركة الجرفة الخلفية، حسب عرض الموقع بالمسارات التالية (الشكل 10-4):



B: عرض الموقع – R: نصف قطر الحفر – Ln: مسافة انتقال الجرفة بين نقطتـــي تمركز

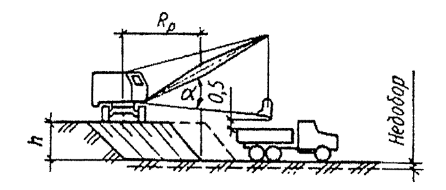
a) حركة أمامية بتحميل من طرف b) حركة أمامية بتحميل من طرف c) حركة زكزاك

d) حركة عرضية e) حركة جانبية

الشكل 4-10: مسارات حركة الجرفة الخلفية حسب عرض الموقع

ثالثاً– الجرفة ذات الدلو المسحوب:

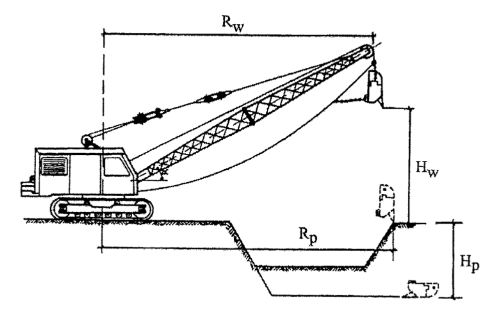
تستعمل من أجل حفر الخنادق والأقنية التـــي يطلب فيها الحصول على أشكال نظامية ذات ميول مستوية للجوانب، وهي تشابه في وضعها واستعمالها للمجرفة الخلفية، حيث يكون مكان وقوفها أعلى من مستوى الكتلة المحفورة والسيارة اللازمة لترحيل ناتج الحفر تقف على مستوى أخفض من مستوى وقوف الآلية أو على نفس مستوى وقوف الآلية الشكل 4-11)، وأيضاً فإن مسارات حركة الجرفة ذات الدلو المسحوب تختلف حسب عرض الموقع، فإنها تشابه مسارات الجرفة الخلفية.



R_p: مسافة أمان وقوف الآلية عن الحافة وتؤخذ غالباً 3 m

الشكل 4-11: الجرفة ذات الدول المسحوب

لكنها تتميز عن المجرفة الخلفية بأنها تستطيع الجرف لمسافات أكبر، أي R_{max} لها أكبر وإلى أعماق أكبر من المجرفة الخلفية كما هو موضح في (الشكل 4-12). وتكون الاستفادة القصوى منها عند استعمالها في جرف الترب الطرية بما فيها الترب الردمية التـــي لا تتحمل الحمولات الكبيرة أي (ذات التحمّل الضعيف)، وذلك كونها مزودّة بذراع شبكي خفيف وطويل، مما يسهل الحفر لمسافات كبيرة نسبياً وبنهاية الذراع يوجد دلو الجرف. حيث يتم إلقاء الدلو باتجاه الأمام ويتم سحب الدلو باتجاه آلية الحفر بحيث يحفر بطريقة التربة.



الشكل 4-12: الأبعاد الهندسية لعمل المجرفة ذات الدلو المسحوب

مجال استخدام مجرفة ذات الدلو المسحوب في الورشات:

كما يوضح (الشكل 4-13) مجال استخدام المجرفة ذات الدلو المسحوب كما يلي:

a- حفر الأقنية والمصارف المتوسطة والكبيرة.

b- حفر الخنادق والمصارف بالاتجاه الطولي.

c- حفر الأتربة من مجاري الأنهار أو البحار، وتعزيل مجاري الأنهار.

d- حفر القشرة السطحية الزراعية.

e- حفريات وتسوية سطحية رقيقة للموقع.

g- إملاء ناتج الحفر في خزانات مرتفعة.

f- حفريات عامة للأساسات أو قواعد الأعمدة.

h- عمل منحدرات وتسويتها.

i- تحميل التربة في الكميونات.

إنشاء الحفر باستخدام مجرفة ذات الدلو المسحوب:

يتم بواسطة مرورات جبهية أو جانبية، مع تفريغ التربة في وسيلة النقل أو على الجوانب ويعتبر استخدامه ذو فاعلية جيدة من أجل الترب الخفيفة والكثيفة بما فيها الترب المغمورة وذات قابلية التحميل الضعيفة، ويمكن أن تتوضع وسيلة النقل في أعلى الحفرة شكل أو في أرضيتها، وتؤمن الحالة الثانية دوران أقل للمجرفة أثناء التفريغ غير أنّه في حالة الترب المشبعة يمكن أن تكون الظروف غير ملائمة لتحرك الشاحنة في أرضية الحفرة.

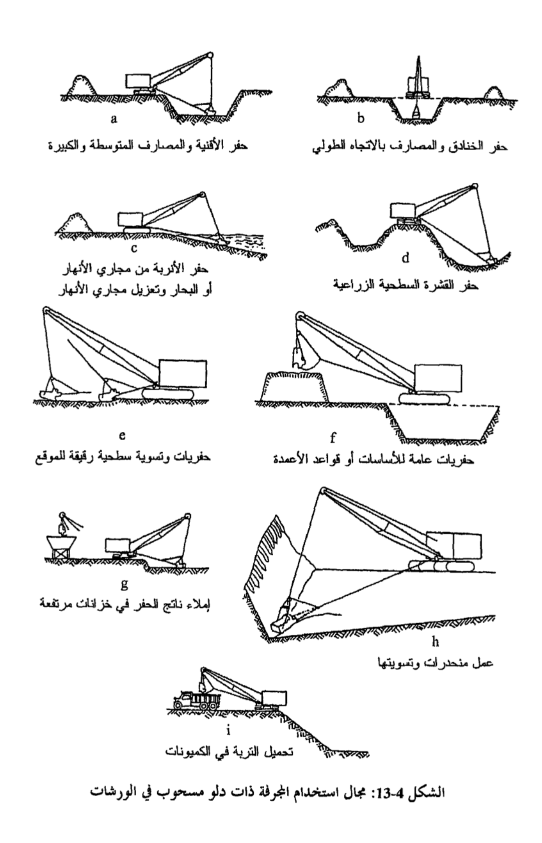
في الحالة العامة أي عندما تسمح حالة التربة بتوضع وسيلة النقل في أرضية الحفرة يتبع مجرفة ذات الدلو المسحوب أثناء تنفيذه للحفر أحد المخططين التاليين:

آ- مخطط مكوكي عرضي:

يتم ملء الوعاء بالتربة بشكل دوري على جانبـي الشاحنة، والتـي تقف في أرضية الحفرة ويجري تفريغ التربة بالشاحنة دون توقف الذراع عن الدوران لحظة التفريغ.

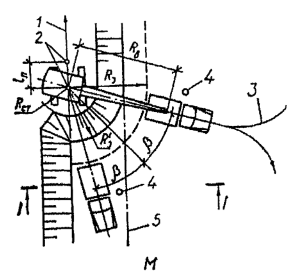
ب- اتّباع المخطط المكوكي الطولي:

يتم غرف التربة من خلاف صندوق السيارة الموجود في الحفرة، ثم يرفع الوعاء ويفرغ فوق الصندوق.



الشكل 4-13: مجال استخدام الجرفة ذات دلو مسحوب في الورشات

بفضل تخفيض مستوى رفع الوعاء وزاوية دوران الجرفة (6-10%)، فإنّ إنتاجية الجرفة تزداد بـــ (1.5-2.0) مرة ومن المفضّل إتبّاع هذين المخططين عند إنشاء حفر ذات عرض كبير، ويوضح (الشكل 4-14) مخطط عمل الجرفة ذات الدلو المسحوب.



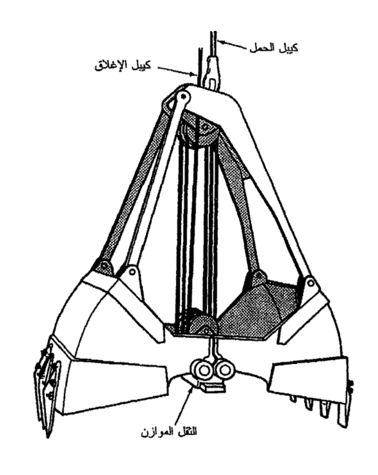
1. محور مسار الآلية، 2. مكان التمركز في المرحلة اللاحقة، 3. اتجاه مسار آلية النقل، 4. مكان وقوف المراقب، 5. محور عمل لآلية الجرف، RB- نصف القطر الأعظمي لذراع آلية الجرف، `R3- نصف قطر الحفرية المنفذة، R3- نصف القطر الأعظمي الممكن تنفيذه، β- زاوية الدوران الأصغرية للتحميل، Ln- المسافة بين تمركزين للآلية

الشكل 4-14: مخطط عمل الجرفة ذات الدلو المسحوب

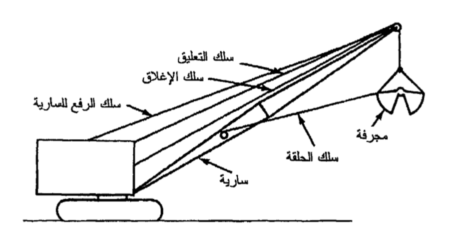
رابعاً– الجرفة اللاقطة:

وهي عبارة عن جرفة مزوَّدة بكتلة حديدية قابلة للفتح والإغلاق، ويتم قبض التربة بواسطتها كما هو مبين في (الشكل 4-15).

وتستخدم في عمليات حفر الخنادق الضيقة والآبار حيث التربة طرية أو مخلخلة رخوة وتكون إنتاجيتها كبيرة في مثل هذه الترب وأيضاً تستعمل في حفر الخنادق الضيقة عندما يكون منسوب المياه الجوفية عالياً وتتميّز بالعمق الكبير للحفر، كما تستخدم أيضاً من أجل ترحيل، وتحميل كتل ترابية وصخرية كبيرة ونواتج الحفر الأخرى من مواقع الحفر إلى آليات النقل. وقد تكون مؤلفة من فك واحد أو عدة فكوك ويبين (الشكل 4-16) الجرفة اللاقطة.



الشكل 4-15: الجرفة اللاقطة

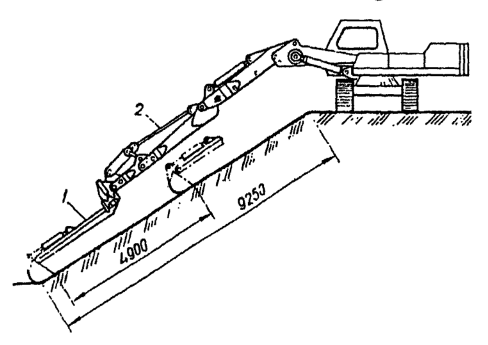


الشكل 4-16: مكونات رافعة الجرفة اللاقطة

خامساً– مجرفة التسوية:

عبارة عن مجرفة هيدروليكية ذات مجرفة وحيدة مزودة بتجهيزات تلسكوبية من أجل تسوية الميول وأرضيات الحفر والخنادق وتنظيف الأقنية.

(المجرفة الهيدروليكية هي الأفضل من الناحية الاقتصادية والتقنية وهي الأكثر انتشاراً في الوقت الحاضر) كما يوضح (الشكل 4-17).



الشكل 4-17: مجرفة هيدروليكية لأعمال تسوية السطوح المائلة

سادساً– المجارف متعدِّدة الأوعية:

وهي عبارة عن آلية تقوم بحفر التربة، والجزء الذي يقوم بالحفر فيها يكون على شكل سلسلة من المجارف المتوضعة على دواليب، والتي تقوم بحفر التربة أثناء حركة المجرفة الرئيسية.

وأهم ميزات هذه المجرفة: هو أنَّ عملية الحفر تجري بشكل مستمر (تتم جميع الأعمال من حفر للتربة وتحريكها وتفريغها في آن واحد).

تستخدم المجارف متعددة الأوعية بشكل خاص من أجل شق الخنادق لتمديد شبكة

الأنابيب أو الشبكات السلكية وأيضاً من أجل تنفيذ المنشآت الترابية المائية.

إلاّ أنها أقل شمولية من ناحية الاستخدام وغير قادرة على تنفيذ الأعمال المختلفة مقارنة مع الجرفة ذات المجرفة الوحيدة، ولكنها تعمل بشكل جيد في حال توفر كمية كافية وكبيرة لنوع معين من الأعمال الترابية مركّزة في مكان واحد.

2.1.2.4 تصنيــف المجــارف:

آ- التصنيف حسب عدد المجارف العميقة وطرائق عملها:

1. المجارف ذات المجرفة الوحيدة.
2. المجارف ذات المجارف المتعددة.

ب- التصنيف حسب طرائق الحفر:

يمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من الحفر:

1. حفر جبهي.
2. حفر جانبــي.
3. حفر مختلط.

1. طريقة الحفر الجبهي

حيث يكون اتجاه حركة آلية الحفر فيها متعامداً مع جبهة الحفر. وتستخدم جميع آليات الجرف السابقة هذه الطريقة من الحفر وذلك تبعاً لظروف الموقع. وتختلف إنتاجية جرافة عن أخرى بزاوية دوران الآلية من أجل تفريغ الوعاء، حيث تقل الإنتاجية مع كبر زاوية الدوران.

وانطلاقاً من ذلك، يجب التمييز بين الحفر الجبهي بواسطة المجرفة الأمامية والحفر الجبهي بواسطة المجرفة الخلفية.

آ- طريقة الحفر الجبهي بواسطة المجرفة الأمامية:

عندما تكون آلية النقل خلال التعبئة واقفة على نفس مستوى وقوف المجرفة، فإنّ الحفر الجبهي بواسطة المجارف الآلية غير محبذ. لأن آليات النقل ستضطر من أجل النــزول إلى الحفرة أن تسير متقهقرة نحو الخلف إضافة إلى أن زاوية دوران ذراع المجرفة في هذه الحالة

كبيرة وتبلغ (°135) درجة، مما يقلّل إنتاجية الجرفة بشكل كبير، إذ إنّها تستغرق زمناً طويلاً للدوران والتفريغ.

من أجل الحفر الجبهي يتم تشكيل خندق عبور عرضه (3.0-3.5 m) وبميل قدره (0.15 - 0.10).

يتم تحميل الأتربة المحفورة الناتجة عن الحفر الجبهي باستخدام المجارف الأمامية من طرف واحد أو من طرفين وذلك إذا ما كان عمق الحفر مناسباً للآلية، حيث يكون العمق الأكبر للخندق محققاً للعلاقة (5-4):

$$h \leq H_B - (h_T + 0.5) \qquad (5\text{-}4)$$

حيث:

h: العمق الأعظمي لخندق.

H_B: ارتفاع التفريغ.

h_T: ارتفاع القلاّب عن سطح الأرض.

0.5: المسافة الصغرى بين سطح وعاء القلاّب، ووعاء الآلية.

وإذا لم تتحقق العلاقة السابقة، وكان لابد من استخدام هذه الآلية، فلابد من عملية الحفر على أقسام كما في (الشكل 18-4-b).

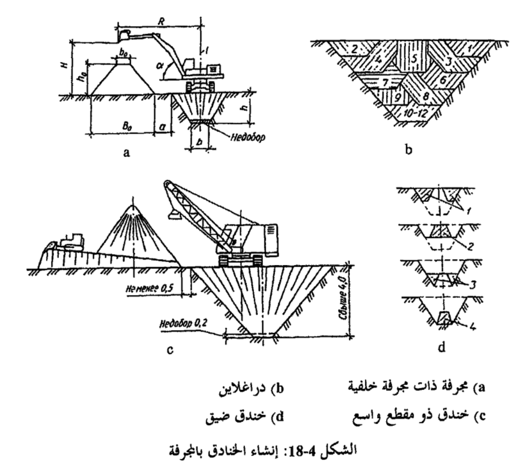
حيث يكون ارتفاع كل من الأقسام محققّة للعلاقة السابقة، أما العرض الأعظمي للحركة الجبهية للمجرفة الأمامية فتعطى بالعلاقة (6-4):

$$B_\ell \leq \sqrt{R^2 - L_{n^2}} \qquad (6\text{-}4)$$

وبالنسبة للحفريات العريضة (والتـــي عرضها أكبر من 3.5 R) يكون العمل أولاً حفر جبهي، ومن ثم يستمر العمل بحركة الجرفة الأمامية بحركة عرضية، ويكون العرض الأعظمي لكل مسار عرضي بالعلاقة (7-4):

$$B_b = B_\ell + 0.7 \cdot R_{MAX} \qquad (7\text{-}4)$$

ومن الناحية التقنية للحفر، فإننا لا نقوم بالحفر حتـــى العمق المطلوب h، وإنما نبقي ارتفاع مقداره 20 cm، حيث نقوم بحفره بواسطة البلدوزر في أغلب الأحيان. وإذا لم يتوفر فالغريدر وإلاّ بواسطة الجرفة المجهّزة بتجهيزات خاصة.



a) مجرفة ذات مجرفة خلفية b) دراغلاين

c) خندق ذو مقطع واسع d) خندق ضيق

الشكل 4-18: إنشاء الخنادق بالمجرفة

ب- طريقة الحفر الجبهي بواسطة المجرفة الخلفية:

آلية النقل: هنا يمكن أن تقترب إلى جانب آلية الحفر، وزاوية الدورن التـــي هي الزاوية بين مركز الصندوق لآليات النقل وبين منتصف القطاع الذي يمكن لذراع الآلية أن يتحرك فيه تصل إلى 90° وأحياناً أقل، وبالخصوص إذا ما كان مسموح التحمّيل من طرفين، وبالتالي تكون الإنتاجية أكبر، ونفس الشيء تماماً ينطبق على المجرفة ذات الدلو المسحوب.

2. طريقة الحفر الجانبـــي

حيث تكون جبهة العمل موازية لحركة الآلية، هذه الطريقة من الحفر تحددها ظروف العمل في الموقع. تتميز طريقة الحفر الجانبـــي بأن إنتاجية الآليات أكبر، وبالأخص للمجرفة الأمامية حيث تكون الإنتاجية أكبر، لأن زاوية دوران التفريغ تكون أقل، وتصل إلى 90°، وتقف السيارة بجانب الآلية.

3. طريقة الحفر المختلط

ويعد من أفضل طرائق الحفر، حيث تقوم آلية الحفر بالحفر الجبهي تارة وبالحفر الجانبي تارة أخرى، وبالتالي يمكن الحصول على أكبر إنتاجية ممكنة لآلية الحفر.

- كيفية إنشاء الخنادق باستخدام المجارف:

إنّ تكنولوجيا إنشاء الخنادق تتضمن العمليات التالية:

1. حفر التربة وتفريغها على الجوانب أي في وسائل النقل.
2. تدعيم الجدران الشاقولية للخندق.
3. نقل التربة.
4. تسوية أرض الخندق.
5. إعادة ردم التربة ورصّها.

تعتبر عملية حفر التربة عملية رئيسة في تنفيذ الخنادق، ويمكن تنفيذ الحفر باستخدام المجرفة الخلفية أو المجرفة ذات الدلو المسحوب أو المجرفة ذات المجارف المتعددة.

- تنفيذ الحفر باستخدام المجرفة ذات المجرفة الخلفية، والمجرفة ذات الدلو المسحوب:

تقوم المجرفة بمرورات جبهية أو جانبية والطريقة الأولى هي الغالبة وتتم بتوضّع المجرفة على محور الخندق، وبتفريغ التربة على الجانب من جهة واحدة وبزاوية دوران لذراع المجرفة ($\beta = 60° - 90°$).

وباستمرار الحفر يزداد حجم التربة المتوضعّة على الجانب، ولكي لا تتجاوز حدود الموشور المحدد لانهيار التربة يمكن الاستعانة ببلدوزر لإبعاد التربة أو يمكن تغيير محور تحرك المجرفة إلى محور جديد مزاح باتجاه الردمية، وإن تسلسل عملية حفر التربة من مكان وقوف واحد للمجرفة يكون عادة على الشكل التالي:

في المستوى الشاقولي: يتم الحفر على عدة طبقات بعمق (2.0-1.5) متر للطبقة الواحدة.

أما في المستوى الأفقي: فيختلف تسلسل حفر التربة حسب نوعيته:

ففي الترب المتماسكة: يتم أولاً حفر التربة من أحد جانبي الخندق مع إجراء التعميق التدريجي له، وإنشاء الميول الموافقة بعد ذلك يتم إجراء الحفر من الجانب الآخر، ثم تتكرر العملية.

وفي الترب غير المتماسكة: يمكن أن يتم الحفر انطلاقاً من المحور الطولي للخندق، أما إذا كان الخندق من النوع العميق يتم عادة تفريغ التربة عند جانبـــي الحفرة مع تحرك المجرفة بشكل متعرِّج على طول الخندق.

- إنشاء الخنادق بالمجرفة ذات المجارف المتعددة:

تستخدم هذه المجرفة في إنشاء الخنادق ذات الجدران الشاقولية، وعملية الردم تتم على مرحلتين:

1. تملأ الجيوب وتطمر الأنابيب يدوياً باستخدام المعاول حتـــى ارتفاع 0.2 m، ثم بعد ذلك يتم ردم القسم الباقي بواسطة البلدوزر.
2. يتم سحب ألواح التدعيم تدريجياً مع الردم، ويشترط بأن لا يسحب أكثر من (3 ألواح) دفعة واحدة شاقولياً. فإذا كانت التربة غير متماسكة، يتم سحب التدعيم لوحاً تلو الآخر مع تغيير توضع الفواصل الأفقية.

- إنتاجية المجارف ذات الوعاء الواحد:

الإنتاجية الفنية:

تعطى الإنتاجية الفنية بالعلاقة (4-8) و(الشكل 4-19):

$$P_t = \frac{3600}{T_{cy}}.q.\frac{k_n}{k_b} \qquad (8\text{-}4)$$

حيث:

q: سعة الوعاء m^3.

k_n: معامل امتلاء الوعاء بالتربة المخلخلة.

k_b: معامل خلخلة التربة في الوعاء.

T_{cy}: استمرار دورة المجرفة وتساوي إلى: زمن ملء الوعاء ثم الدوران، وبعد ذلك التفريغ والعودة.

إن الإنتاجية الفنية تتحدد أثناء العمل المتواصل للآلية ضمن ظروف تكنولوجية محددة. يعبر عن هذه الظروف في المجرفة من خلال معامل امتلاء الوعاء، والذي يتعلق بالأمور التالية:

آ- نوعية التربة.

ب- زاوية دوران المجرفة أثناء التفريغ.

ج- ظروف تفريغ الوعاء.

معامل امتلاء التربة في الوعاء بوضعها الطبيعي k_T ويحسب من العلاقة (4-9):

$$k_T = \frac{k_n}{k_b} \quad (9-4)$$

الإنتاجية الاستثمارية: وتحسب من العلاقة (4-10):

$$P_C = P_t * k_B * n_C \quad (10-4)$$

حيث:

n_C: عدد ساعات العمل الفعلي خلال الوردية.

k_B: معامل استخدام المجرفة زمنياً، ويأخذ هذا العامل بعين الاعتبار التوقفات أثناء انتظار الشاحنات ويحسب من العلاقة (4-11).

$$k_B = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (11-4)$$

حيث:

t_1: زمن ملء الشاحنة (sec).

t_2: زمن انتظار المجرفة لتبديل الشاحنة (sec).

ملاحظة: يمكن تحديد إنتاجيات آليات من أجل الأعمال الترابية استناداً إلى منحنيات جاهزة وجداول (منحنيات تعطي الإنتاجية الفنية). (الجداول 4-1 و4-2) و(الشكل 4-19).

الجدول 4-1: معامل استخدام المجرفة

نوع التربة	المجرفة	
	ذات مجرفة أمامية	ذات مجرفة خلفية (دراغلاين)
خفيفة	0.9	0.8
متوسطة	0.8	0.7
ثقيلة	0.7	0.6
صخرية مفجّرة بشكل جيد	0.6	-

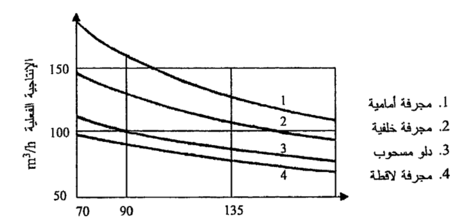
الجدول 4-2: الاستمرارية الأصغرية لدورة المجرفة (ثانية)

سعة الوعاء m^3	التربة		
	خفيفة ومتوسطة	ثقيلة	صخرية مفجرة بشكل جيد
مجرفة أمامية تفرغ في وسيلة النقل التـــي سعتها لا تقل عن (4-3) مرات حجم الوعاء وبزاوية دوران 90°			
0.4	13	15	20
0.65	15	17	24
1	18	20	25
2.5	20	22	27
4	22	24	29
مجرفة ذات دلو مسحوب عند تفريغه للتربة على الجوانب وبزاوية دوران 135°			
0.4	19	22	-
0.65	20	23	-
1	21	24	-
2.5	22	25	-
مجرفة خلفية عند تفريغها للتربة على الجوانب وبزاوية دوران 90°			
0.25	17	20	-
0.4	20	23	-
1	23	26	-
2.4	29	30	-

العوامل المؤثرة في إنتاجية المجارف الآلية

1- نوع التربة:

إن نوع التربة يكون عاملاً أساسياً في اختيار الآلية اللازمة لتنفيذ الأعمال الترابية، وبالتالي يؤثر في إنتاجية الآلية المختارة، بحيث تزداد الإنتاجية مع ازدياد سهولة التعامل معها (الترب الطرية) حيث بالإمكان استخدام أوعية جرف ذات حجوم كبيرة لرفع الإنتاجية نتيجة سهولة التعامل مع تربة الموقع.



الشكل 4-19: الإنتاجية الفعلية لمجرفة سعة وعائها 1 م^3 وعلاقة هذه الإنتاجية بنوع التجهيزات وزاوية الدوران من أجل التفريغ (α)

2- زاوية الدوران للآلية من أجل تفريغ الوعاء:

وهي العامل الأساسي في تحديد إنتاجية الآلية، وذلك لأنّه إذا ما كانت الزاوية كبيرة سيكون زمن التفريغ كبيراً، وهذا ما يؤثر على دورة الآلية، وبالتالي على الإنتاجية، ويمكن أن نقول أنها تتناسب عكساً مع الإنتاجية لذلك نختار آلية الحفر التـــي تسمح بوجود آليات التحمّيل أو الترحيل (قلاّبات)، بحيث تصنع معها أقل زاوية لنحصل على إنتاجية أعظمية.

3- نوع آلية الحفر:

يجب أن نختار الآلية الأكثر ملائمة للأعمال الترابية مع الأخذ بعين الاعتبار أنّ التجارب التـــي أجريت على إنتاجية المجارف من سعة وعاء واحدة. أثبتت أن أكبر إنتاجية كانت للمجرفة الأمامية، ومن ثم الخلفية ويليها الدلو المسحوب وثم المجرفة اللاقطة، وذلك بدلالة زاوية الدوران من أجل التفريغ.

4- أبعاد الحفرية وشكلها:

لذلك تتم دراسة الموقع بشكل جيد لاختيار الآلية ومسارها حسب أبعاد وشكل هذه الحفرية، لكي تكون الإنتاجية كبيرة.

عوامل رفع إنتاجية المجرفة:

إن رفع إنتاجية المجارف يتحقّق عن طريق ما يلي:

1. العمل على زيادة تداخل العمليات مع بعضها من أجل تخفيض مدة الدور.

2. ملء الوعاء بشكل أفضل.
3. المحافظة على الآلية في حالة فنية جيدة، وذلك من خلال تنفيذ الصيانات والإصلاحات في الوقت الملائم وبشكل دوري.
4. مهارة وقدرة السائق على التحكُّم بالآلية.

* أما الشروط الضرورية لزيادة إنتاجية عمل المجرفة هي:
1. الاختيار الأمثل والصحيح لوسيلة النقل التـــي توافق سعتها سعة وعاء المجرفة.
2. التنظيم الجيد للقدوم المتواصل لآليات النقل.
3. استعمال أوعية ذات سعة كبيرة في حالات التربة المتوسطة والخفيفة.

*** آليات حفر الخنادق**

إنَّ المجارف الأمامية والمجارف الخلفية تصلح لحفر الخنادق المستطيلة المقطع، ولكنّها تعتبر كآليات ذات عمل متقطع وليست مستمرة العمل وذلك لأنّ وقتها لا يستثمر كله في عملية الحفر(بسبب وجود وقت دوران وتفريغ).

وبالمقابل توجد آليات ذات عمل مستمر ودائم مثل المجارف بشكل مجارف متعددة الأوعية وتقسم إلى نوعين، وذلك حسب توضع الأوعية في الآلية:
1. مجارف خنادق ذات مجرفة دائري.
2. مجارف ذات مجرفة مستطيل بشكل سُلَّم.

وفي أغلب الأحيان تسير على جنازير لتأمين القوة والارتكاز.

- ميزات المجارف بشكل مجرفة:
1. السرعة الكبيرة.
2. الإنتاجية الجيدة.
3. تعطي مقطع منتظم لا يحتاج للإصلاح على عكس المجارف الأخرى.

- مساوئ المجرفة:
1. لا يستطيع الحفر إذا كانت التربة طرية جداً. لأنَّ جوانب الخندق قد تهدم.
2. كذلك لا يستطيع حفر الترب الصخرية، لأنَّ إمكانية الحفر للتربة القاسية غير متوفرة فيها.

3. يجب أن يكون رأس السير المتحرك أعلى من قمة الكومة الترابية.

1. آلية الحفر المستمر ذات المجرفة الدائرية:

تقوم بحفر خنادق عمقها 1650 cm ويتراوح بين (30-165) سم، ويقوم بالحفر عن طريق سطول ذات أسنان على المحيط، حيث تقوم بحفر التربة ثم تفريغها على سير متحرك والذي بدوره يفرغها على طرف الخندق أو في سيارة تسير موازية للمجرفة (الشكل 4-20).

2. آلية الحفر ذات المجرفة المستطيلة:

إن طول هذا المجرفة يساعد على جعل الخندق عميقاً، ويمكن أن يصل عمق الحفر إلى 990 cm وعرض الخندق إلى 396 cm.

تتحرك السطول على جنـــزير مضاعف، ويتم التفريغ على سير متحرك يلقي التربة على أحد جانبـــي الخندق (الشكل 4-21).

للمجرفة المستطيلة نوعان:

1. ذات سارية مائلة على الأفق.
2. ذات سارية شاقولية.

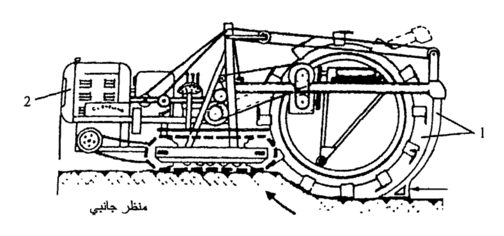
2.2.4 المجارف السطحية

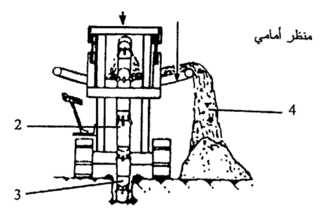
تعريـــف:

هي آليات خاصة تستخدم في تنفيذ الأعمال الترابية، وأهم استخدام لها هو أعمال الجرف السطحي وأعمال الردم السطحي إضافة إلى نقل التربة.

مبدأ عملها:

- غرس ترس أو شفرة الآلية في التربة حتـــى عمق يتراوح بين (10-30) سم، ثم كشط التربة إلى مسافة معينة لحين امتلاء ترس أو صندوق الآلية.
- بعدها تقوم الآلية بجرف التربة أمامها أو بنقل التربة المكشوطة ضمن صندوق الآلية مسافة معينة. وتتعلق مسافة الجرف أو النقل بنوع الآلية المستخدمة.
- تتراوح سرعة الكشط والجرف بين (5 - 2 km/ h).
- أما بالنسبة للردم السطحي: فهو ردم التربة على طبقات تصل سماكتها إلى 40 سم.

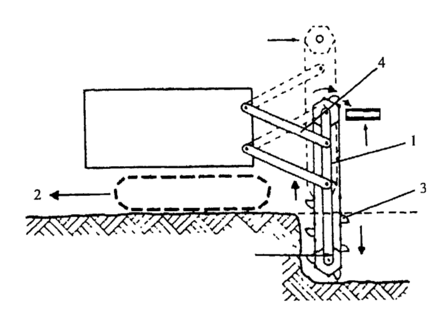




1- أوعية الحفر المتعددة (مركبة على محور دائري)، 2- جسم الآلية (جرار)، 3- ناقل الحركة مجنـــزر،
4- عملية تفريغ التربة على طرف الخندق
الشكل 4-20: آلية الحفر ذات المجرفة الدائرية

الاستخدام الأمثل للمجارف السطحية:

1. في أنواع الترب ذات المقاومة المتوسطة للحفر.
2. عندما تكون مسافات النقل أو الجرف صغيرة ومحدودة.
3. عندما تكون سماكات الحفر صغيرة.
4. في مواقع العمل ذات الميول الصغيرة.
5. أن لا يحتوي موقع العمل على تضاريس صعبة.



1- سير ناقل، 2- آلية جر مجنـــزرة، 3- أوعية جرف متعددة، 4- ذراع نقل الحركة

الشكل 4-21: آلية الحفر ذات الجرفة المستطيلة

ملاحظة: تبذل الاستطاعة القصوى للمجارف السطحية أثناء عملية الكشط لأنّ الآلية في هذه الحالة تقاوم ثلاث مقاومات وهي:

1. مقاومة التربة للحفر.
2. مقاومة الحركة.
3. مقاومة الجرف.

*** الآليات التـــي تدخل ضمن المجارف السطحية هي:**

1. البلدوزر.
2. الكاشطات.
3. الغريدر.

مسافات النقل الأمثلية:

يتم تحديد مجال الاستخدام الأمثلي للمجارف السطحية واستناداً لدرجة قساوة التربة وإلى مسافة النقل (الجدول 4-3).

الجدول 4-3: مجال استخدام المجارف السطحية

نـــوع الآليـــــة		قساوة التربة	مسافة النقل (m)
		2 3 4 5	1 2 5 10 20 90 100 200 300 1000 2000 4000
بلدوزر	ترس جبهي		
	ترس مائل أفقياً		
	ترس مائل شاقولياً		
كاشطة مقطورة	جرار مطاطي		
	جرار مزنجر		
كاشطة متحركة ذاتياً	دون مساعدة بلدوزر		
	بمساعدة بلدوزر		
غريـــدر			

مجال مناسب للاستخدام

الحد الأدنى لمجال الاستخدام

الحد الأعلى لمجال الاستخدام

وبالتالي فإنّ أفضل مسافة نقل للبلدوزر هي m (5-80). وضمن هذه المسافة يكون استخدام البلدوزر مجدياً، وفي حال كانت المسافة أكبر يصبح استخدامه غير مجدّي.

أما بالنسبة للكاشطات، فإنّ أفضل مجال لاستخدامها هو m (100-2000).

أولاً: البلـــدوزر

– تعريـــف:

هي آلية ذاتيّة الحركة تدخل ضمن المجارف السطحية والموضحة في (الشكل 4-22) مخصصة بشكل أساسي للقيام بحفر التربة تدريجياً بشكل طبقات وتكوين التربة ودفعها مسافة لا تزيد عن 100م، كما يقوم بالأعمال التالية:

1. كشط التربة الزراعية وتنظيف موقع العمل من الأنقاض.
2. ردم الحفر والخنادق بالأتربة.

3. فرش وتسوية تربة الردم تسوية غير دقيقة.
4. العمل مع آلة السكريبر، ومساعدتها في عملية كشط التربة.
5. شق الطريق للورشة في المناطق الوعرة (خلال الهضاب والجبال)، وصيانة الطرقات في الموقع.



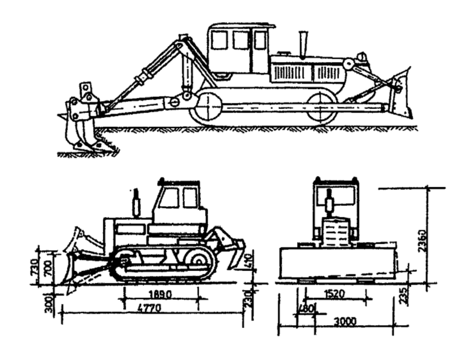
الشكل 4-22: البلدوزر

- البنيـــة:

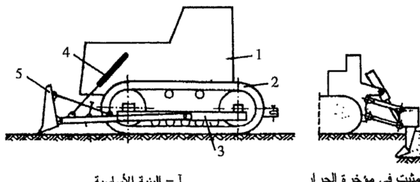
يتألف البلدوزر من جرار في مقدمته الترس الذي يتصل مع الجرار بواسطة ذراع قابل للحركة من أجل تغيّر وضعية الترس، وقد يزوّد الترس بأسنان في حال كون التربة قاسية أو بشفرة من أجل الانغراس في التربة.

ويمكن أن يزوّد البلدوزر من الجهة الخلفية بآلة حفر من أجل خلخلة التربة وحرثها وذلك في حال كانت التربة ذات مقاومة عالية أو حالة الترب المتجمّدة ونسمِّي عندها بالبلدوزر المُخَلخل (الشكل 4-23).

كما يمكن أن يزوّد البلدوزر بصفائح جانبية تخفف من هروب التربة، وضياعها من الجوانب خلال عملية الجرف، ويوضح (الشكل 4-24) أهم التجهيزات الرئيسة للبلدوزر.



الشكل 4-23: الأبعاد الهندسية للبلدوزر



آ – البنية الأساسية

ب – محراث مثبت في مؤخرة الجرار متحرك هيدروليكياً

1. جرار مجنـــزر

2. الهيكل الحامل

3. قضيب حامل للترس

4. مكبس هيدروليكي للتحكم بوضعية الترس

الشكل 4-24: تجهيزات البلدوزر

التصنيـــف:

يمكن أن يصنَّف البلدوزر إلـــى:

1. حسب نوعية الجرار.
2. حسب وضعية الترس.

1. حسب نوعية الجرار

آ- بلدوزر يتحرك على جنازير:

1. يستخدم هذا البلدوزر في الترب ذات المقاومة الضعيفة، لأنّ الضغط المطبق منه على التربة قليل.
2. كما يمكن استخدامه في الأراضي الوعرة والصخرية، ومنحدرات الجبال دون أن نخشَ تدهوره أو انزلاقه.
3. إمكانية الدوران في مناطق صغيرة وطاقة الجر فيه كبيرة.

ومن سيئاته:

1. وزنه ثقيل.
2. سريع الاهتراء.
3. صعوبة النقل.

ب- بلدوزر يتحرك على دواليب مطاطية:

1. ذو إنتاجية عالية وسهل القيادة.
2. سرعة تنقلّه كبيرة، لذا لا يحتاج إلى شاحنة عند نقله من ورشة لأخرى.

ومن سيئاته:

1. أنّ الدواليب معرّضة للانفجار.
2. عدم القدرة على العمل في الأراضي الموحلة.

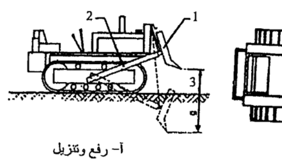
2. حسب وضعية الترس

إن طول الترس عادةً هو أكبر من عرض الجرار، أما بالنسبة لوضعية الترس فيمكن أن يأخذ الأوضاع التالية (الشكل 4-25):

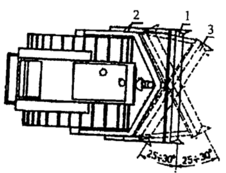
- يمكن أن يكون الترس موازياً تماماً لجبهة العمل، أي يأخذ وضعيّة متعامدة مع مسار

حركة الجرار (ترس جبهي).

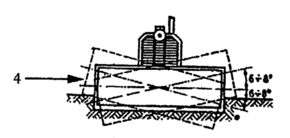
- ويمكن أن يكون الترس مائلاً مع جبهة العمل بزاوية معينة (الترس قابل للحركة حول محور شاقولي).
- كما يمكن أن يتحرك الترس بصورة مائلة مع سطح الأرض، فيكون في هذه الحالة قابل للحركة حول محور أفقي.



آ- رفع وتنزيل



ب- تدوير الترس حول محور شاقولي



ج- تدوير الترس حول محور أفقي

w: أعلى ارتفاع لترس البلدوزر (m)، g: أكبر عمق لترس البلدوزر (m)

1. الترس   **2. ذراع هيدروليكي لحركة الترس**

3. الزوايا الأفقية لحركة الترس   **4. الزوايا الشاقولية لحركة الترس**

الشكل 4-25: الوضعيات الممكنة للترس خلال العمل

التسوية الترابية للموقع بواسطة البلدوزر:

تتضمن التسويّة الترابية الأعمال التالية:

1. الحفر (الكشط).

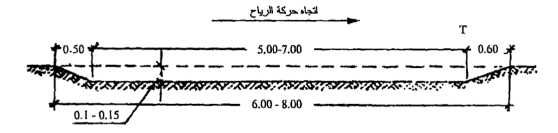
2. الجرف.

3. نقل وردم.

1. الحفر (الكشط): يمكن أن نميّز في عملية كشط البلدوزر للتربة ثلاثة طرق:

آ- شرائح منتظمة المقطع:

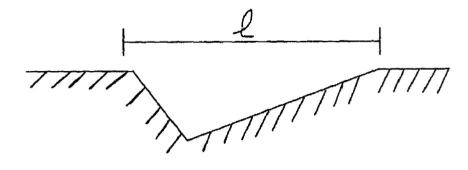
حيث يتم كشط طبقة منظمة من الأتربة سماكتها cm(10-15) وتكون مسافة القطع m (6 - 8) وتناسب هذه الطريقة الترب الضعيفة الطرية، كما هو مبين في (الشكل 4-26).



الشكل 4-26: شرائح منتظمة المقطع

ب- شرائح مسننّة:

تتم في الترب الأكثر كثافة، حيث تنغرس الشفرة في التربة بمسافة cm (20-25) وتكون مسافة القطع cm(6 - 6.5) كما هو موضح في الشكل (4-27).

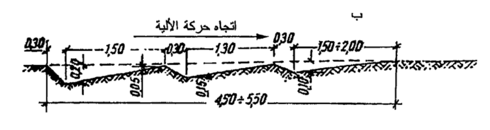


الشكل 4-27: شرائح مسننة

ج- بشكل إسفينـــي: (كشط التربة بالتدريج):

تغرس الشفرة في التربة إلى العمق الأعظمي cm(20-25) ونتيجة ازدياد الحمولة يتم رفع الشفرة جزئياً ثم غرسها من جديد إلى عمق أقل، حيث تنغرس الشفرة من مرتين إلى

ثلاث مرات خلال عملية الكشط وتستخدم هذه الطريقة في التربة القاسية، وتكون مسافة القطع m(5.5-4.5)، ويوضح (الشكل 4-28) هذا النوع من الكشط.



الشكل 4-28: طريقة كشط التربة بالتدريج

2. الجرف:

يتم الجرف بالبلدوزر بطريقتين:

آ- الطريقة السطحية.

ب- الطريقة الصندوقية.

آ- الطريقة السطحية:

تعتمد هذه الطريقة على جرف الطبقة السطحية من التربة، حيث تشكل التربة الفائضة على جوانب الترس ميولاً معينة، مما يؤدي إلى تخفيف هروب التربة عندما نعيد عملية الجرف على المسار نفسه (الشكل 29-4-a).

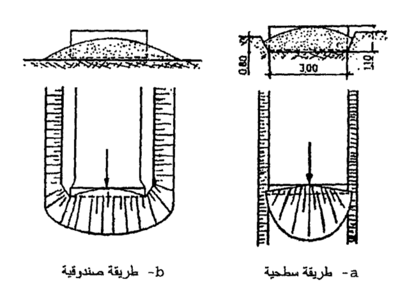
ب- الطريقة الخندقية (الصندوقية):

من أجل التقليل من ضياع التربة خلال عملية الجرف يكون من المناسب إتباع الطريقة الخندقية في تنفيذ الأعمال، حيث يتم خلال المرور المتكرر للبلدوزر من الطريق نفسه تشكيل خندق بعمق m(0.5 - 0.8) على جوانب كما هو في (الشكل 29-4-b).

- أما بالنسبة لمسافات الجرف فهي للطرق السابقة:

آ- الطريقة السطحية: من أجل مسافة جرف أقل من 20 m.

ب- الطريقة الصندوقية: من أجل مسافة جرف أكبر من 20 m.

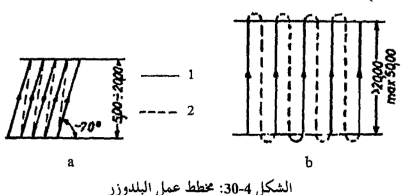


a- طريقة سطحية   b- طريقة صندوقية

الشكل 4-29: طرق جرف التربة بواسطة البلدوزر

آ- إذا كانت مسافة الجرف أقل من 20m، فيفضّل في هذه الحالة تنفيذها بمخطط نواسي وهو أن يقوم البلدوزر بعد أن يردم التربة المجروفة بالعودة إلى مكانه بحركة خلفية، أي لا يقوم بعملية الدوران حتـــى يعود إلى الوضعية الأساسية ليقوم بعملية جرف جديدة (الشكل 4-30-a)، وهذا يسمح بتوفير الزمن المستهلك بالدوران ويقلّل من اهتراء الآلية.

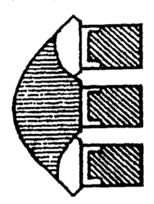
ب- أما عندما تكون مسافة الجرف تتجاوز 20m، فيكون استخدام الطريقة السابقة عملية غير اقتصادية بسبب ازدياد الزمن الضائع أثناء رجوع البلدوزر نظراً لسرعته البطيئة. فيفضّل في هذه الحالة أن يقوم البلدوزر بإتباع المخطط الاهليليجي بدورانين، حيث يقوم بالدوران النظامي ليعود، ويأخذ وضعيته الأساسية من أجل القيام بعملية جرف جديدة (الشكل 4-30-b).



الشكل 4-30: مخطط عمل البلدوزر

من أجل أعمال التسوية على السطوح الكبيرة يتم تنظيم العمل، بحيث يعمل عدة بلدوزرات جنباً إلى جنب وبسرعة واحدة وبمسافة فاصلة بينها تصل إلى 0.5 m، وتتطلّب أن تكون التربة عادية قاسية، وتقتضي الانتباه الجيد والتفاهم المتبادل بين السائقين.

- ونتيجة العمل الجماعي تزداد الإنتاجية بشكل كبير (الشكل 4-31).



الشكل 4-31: العمل الجماعي للبلدوزرات

3. الـــردم:

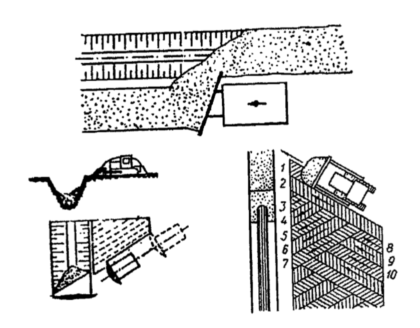
من أجل ردم الخنادق العريضة هناك أسلوبين كما هو مبين في (الشكل 4-32):

آ- الأسلوب الأول: باستخدام الترس الجبهي حيث يتم جرف التربة بحركة متوازية اتجاهها يصنع زاوية معينة مع مسار الخندق.

ب- الأسلوب الثانـــي: تعتمد هذه الطريقة على تجزئة مساحات العمل إلى رقع، ويستخدم الترس الجبهي في العمل. في المرحلة الأولى: تجرف التربة من الرقعة المجاورة للخندق، وإليه تكون مسارات الجرف على الرقع غير متوازية خلال عمل البلدوزر.

إنشاء الحفر باستخدام البلدوزر:

يفضّل إتباع الطريقة الخندقية مع تحرك البلدوزر بمخطط مكوكي. يقوم البلدوزر بجرف التربة على طول محور الحفرة مبتدءاً من منتصف الحفرة باتجاه طرفيها في البدء، يتم حفر القسم الأول إلى عمق m (0.8-1.0)، بعد ذلك يحفر القسم الثانـــي بالاتجاه العكسي إلى العمق نفسه وهكذا تتكرر العملية حتـــى الوصول إلى العمق المطلوب.



الشكل 4-32: عملية الردم باستخدام البلدوزر

إنتاجية البلدوزر:

تعطى إنتاجية البلدوزر خلال وردية عمل بالعلاقة (4-12):

$$P_C = \frac{3600\,V.k_d.n_C}{T_{cy}} \qquad (12\text{-}4)$$

حيث:

V: حجم الموشور الترابـــي المتجمّع أمام الترس (m^3).

k_d: معامل تغيّر الإنتاجية وفقاً للميلان ومسافة جرف التربة.

n_C: عدد ساعات العمل الصافي للبلدوزر خلال وردية.

T_{cy}: استمرارية دورة البلدوزر (sec).

نعتبر أن زاوية توضع التربة أمام الترس تساوي إلى ميل انحدارها الطبيعي، ويؤخذ حجم موشور التربة بالعلاقة (4-13):

$$V = \frac{b.H^2}{2\,tg\,\varphi_0.k_b} = \frac{b.H^2}{2\mu\,k_b} \qquad (13\text{-}4)$$

حيث:

b: عرض الترس (m)

H: ارتفاع وتر الترس (m)

$\mu = 2\ tg\ \varphi_0$: معامل احتكاك التربة.

k_b: معامل خلخلة التربة

تعطى استمرارية دور البلدوزر بالعلاقة (4-14):

$$T_{cy} = \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + \frac{L_1 + L_2}{V_3} + t_0 \qquad (14\text{-}4)$$

حيث:

L_1: مسافة قطع التربة (m)

L_2: مسافة جرف التربة (m)

V_1: سرعة البلدوزر أثناء قطع التربة (m/sec)

V_2: سرعة البلدوزر أثناء جرف التربة (m/sec)

V_3: السرعة أثناء العودة (m/sec)

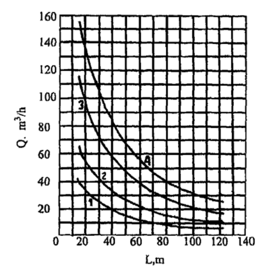
t_0: الزمن المستهلك من أجل غرس الترس وتغير السرعة وفي الدوران (sec)

إن الإنتاجية العالية للبلدوزر تتحقق عن طريق زيادة حجم موشور التربة، وعن طريق اختصار زمن الدور، والذي يتحقّق عن طريق الدمج الممكن للعمليات، مثلاً: رفع الترس مع التفريغ والتسوية، غرس الترس مع تحويل السرعة.

* إن إنتاجية البلدوزر تتعلّق بعدة عوامل:

1. استطاعة محرك الآلية.
2. طبيعة مستوى العمل: وهي تعطي إنتاجية البلدوزر حسب ميول السطح الذي يعمل عليه البلدوزر، ومسافة الجرف.
3. مقاومة التربة للحفر.
4. مسافة الجرف.
5. أبعاد الترس.

أو يمكن اعتماداً على (الشكل 4-33).



1- ميول 10% نحو الأعلى، 2- سطح أفقي، 3- ميول 10%، 4- ميول 20% نزولاً

المنحنـــي 1: ميول 10% نحو الأعلى (بالاتجاه الصاعد) ⇐ الإنتاجية m^3/h(5 – 40).

المنحنـــي 2: سطح أفقي: تتغير الإنتاجية حسب مسافة الجرف m^3/h (10-65).

المنحنـــي 3: سطح مائل 10% (بالاتجاه النازل)، تزيد إنتاجية البلدوزر، وتتراوح الإنتاجية بين m^3/h (20 - 115) حسب مسافة الجرف.

المنحنـــي 4: سطح مائل 20% نزولاً وتصل الإنتاجية حتـــى 155 m^3/h.

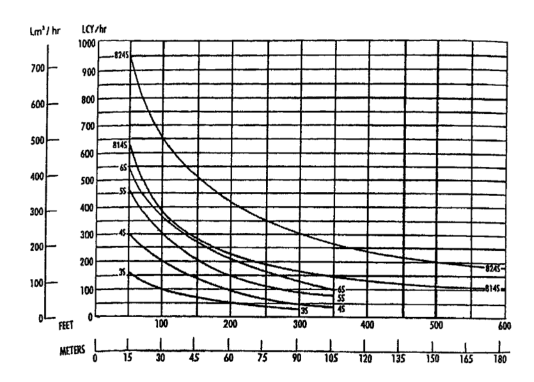
الشكل 4-33: العلاقة بين إنتاجية البلدوزر ومسافة الجرف وميول السطح

– تحديد إنتاجية البلدوزر بالساعة من الخطوط البيانية

هناك مجموعتين من المنحنيات يمكن الاعتماد عليها في تحديد قيمة الإنتاجية المثالية بالـــ m^3/h على ضوء المسافة التـــي يحفرها البلدوزر وهو في حالة السير للأمام.

المجموعة الأولى:

منحنيات تغيّر الإنتاجية الساعية بدلالة مسافة الحفر من أجل بلدوزرات مجـــتررة من نوع D-3, D-4, D-5, D-6، والبلدوزرات ذات الدواليب المطاطية 814-874. كما في (الشكل 4-34).



الشكل 4-34: منحنيات تغير الإنتاجية الساعية بدلالة مسافة الحفر من أجل البلدوزرات المجنـــزرة من النوع D-3, D-4, D-5, D-6، والبلدوزرات ذات الدواليب المطاطية 814 - 524

المجموعة الثانية:

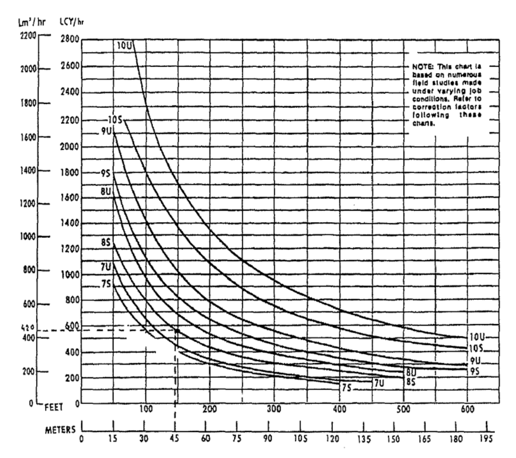
هذه المنحنيات تستخدم من أجل البلدوزرات المجنـــزرة في ورشات الأعمال الترابية وهي من النوع D-9, D-10 المستخدم بشكل كبير في المشروعات الهندسية (الشكل 4-35) يوضح هذه المنحنيات.

المجنـــزرة من النوع D-9, D-10

تتعلق الإنتاجية المعتمدة من هذه المنحنيات على نوع الشفرة المستخدمة في البلدوزر من خلال وضع دليل على نهاية المنحنيات والمتمثل بالحرفين (S) و (U) حيث:

الحرف S: يدل على أن الشفرة مستقيمة.

الحرف U: يدل على أن الشفرة نظامية.



الشكل 4-35: منحنيات تغير الإنتاجية الساعية بدلالة مسافة الحفر من أجل البلدوزرات

– **القيم الواردة:** هي قيم مثالية غير واقعية، ويجب تصميمها.

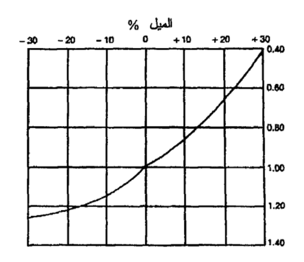
وهذه المنحنيات بنيت على الأسس النظرية التالية:

1. الشفرات المستعملة من النوع النظامي أو المستقيم.
2. المردود الزمنـــي 60 دقيقة/ الساعة.
3. التربة ذات رطوبة 30%.
4. شفرة البلدوزر تحفر لمسافة 15m، ثم تدفع التربة دفعاً المسافة المتبقية.
5. الأرض التـــي يحفرها أفقية تماماً.
6. التربة المحفورة ذات كثافة $1790\ kg/m^3$.

ومن أجل الحصول على الإنتاجية الحقيقية لابد من ضرب الأرقام التـــي تعطيها المنحنيات بعوامل تصحيح وهي ملّخصة في (الجدول 4-4) و(الشكل 4-36).

الجدول 4-4: عوامل التصحيح المستخدمة لإيجاد الإنتاجية الحقيقية

الرقم	نوع التصميم	بلدوزر مجنـــزر	بلدوزر على دواليب
1	كفاءة السائق جيدة	1.00	1.00
	كفاءة السائق متوسطة	0.75	0.60
	كفاءة السائق ضعيفة	0.60	0.50
2	تربة طرية أو محفورة	1.2	1.2
	تربة متوسطة القساوة	0.8	0.75
	تربة صخرية مفككة	0.8-0.6	-
3	شروط الرؤية غير جيدة (غبار، مطر)	0.8	0.7
4	المردود الزمنـــي الساعي جيد (50) د/ساعة	0.84	0.84
	المردود الزمنـــي الساعي متوسط (40) د/ساعة	0.67	0.67
5	استعمال شفرة قابلة للميل (انكلدوزر)	0.7-0.5	-
	استعمال شفرة مجنَّحة	0.75-0.50	0.75-0.50
6	من أجل التصحيح المتعلق بميلالأرا يسير عليها البلدوزر، انظر المنحنـــي التاليلنا يعطي عامل تصحيح الميل (+) أو (-)	انظر (الشكل 4-36)	

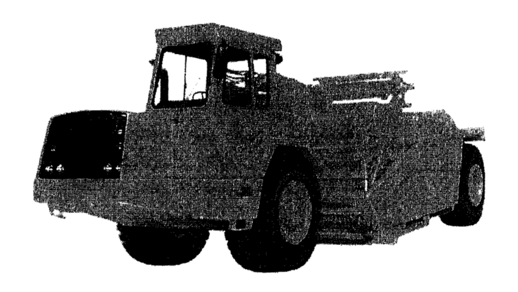


الشكل 4-36: الإشارة الموجبة من أجل الأرض الصاعدة. الإشارة السالبة من أجل الأرض الهابطة

ثانياً: الكاشطات (السكريبرات)

تعريف:

هي معدّات هندسية مهمتها قشط التربة، ودفعها إلى صندوق تخزين ونقلها إلى مكان آخر، وإعادة فرشها مجدداً بما يتوافق مع مناسيب الطريق، (الشكل 4-37).



الشكل 4-37: الكاشطات

وتعتبـــر آلية مستقلة تعمل بشكل متكامل دون الاشتراك مع الآلات الأخرى، تدخل ضمن المجارف السطحية المخصصة لحفر التربة على شكل شرائح، كما تقوم بتحميل التربة ونقلها وردمها على طبقات ذات سماكة معينة، وقد تستخدم أحياناً من أجل الرص.

- كما تستخدم الكاشطات (السكريبرات) في الأعمال التالية:

1. السدود الترابية.
2. تسوية السطوح العريضة.
3. حفر الأقنية العريضة.
4. حفر صندوق الطريق وردم جسم الطريق.

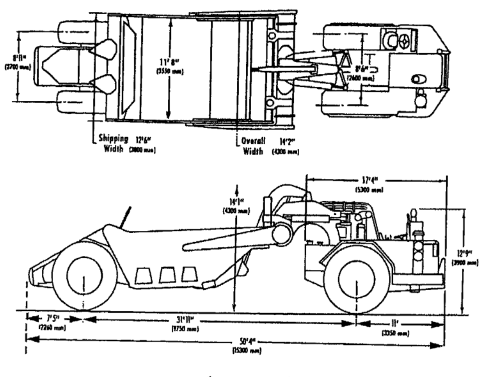
إن مجال عمل الكاشطات بين (30-2000)م.

عملها:

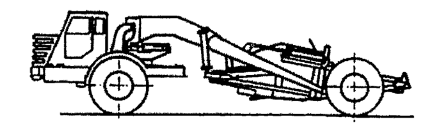
ينخفض الوعاء وتنغرس الشفرة في التربة (10-30) سم، عند تحرك الآلية للأمام تندفع التربة إلى داخل الوعاء، ويتم إغلاق الفتحة ويرتفع الوعاء للأعلى، ثم تنقل التربة إلى المكان المخصص لفرشها، حيث ينفتح الجدار الأمامي، وتفرش على طبقات تصل إلى (40-50)سم.

البنيـــة:

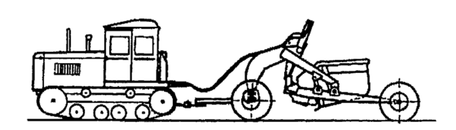
السكريــــر عبارة عن آلية تحوي صندوق كبير الحجم (وعاء محمول على الهيكل الحامل) سعته $6 - 50\ m^3$ يقوم بسحبه جرار (تركتور) يسير على جنـــزير أو دواليب، وهذا الصندوق مزوَّد بشفرة أو أسنان للغرس في التربة، يقوم بالعمل عن طريق آلية لتحريكه، ويوضح (الشكل 4-38) و(الشكل 4-39) و(الشكل 4-40) أشكال السكريير.



الشكل 4-38: السكريــــر



الشكل 4-39: سكريـــر بمحورين ذاتـــي الجر



الشكل 4-40: سكريـــر يجرّه جرار مجنـــزر

التصنيـــف:

1. حسب نوعية الجر:

آ- متحركة ذاتياً: أي أنَّ الكاشطة مع آلية الجر تشكِّل آلية واحدة.

ب- مقطورة: تحتاج لجرار تتصل معه لتستطيع العمل.

2. حسب نوعية الجرار:

آ- جرار مجنـــزر: يعمل في المناطق الصعبة والغير مستوية، ويؤمن قوة سحب كبيرة وتستخدم للمسافات القصيرة.

ب- جرار يسير على دواليب: تستعمل للمسافات الطويلة وسرعته كبيرة وذو إنتاجية كبيرة.

3. حسب كيفية تفريغ الوعاء:

آ- تفريغ حر (عادي): تندفع التربة إلى الأسفل بفعل الجاذبية الأرضية، والوعاء يدور حول محور أفقي.

ب- تفريغ نصف قسري: تدور أرضية الوعاء مع الجدار الخلفي، وتبقى الأطراف الجانبية ثابتة.

ج- تفريغ قسري: يتم التفريغ عن طريق تقدم الجدار الخلفي للوعاء، مما يدفع التربة نحو الخارج.

أشكال السكريبرات:

هناك أنواع متعددة من السكريبرات وتختلف عن بعضها حسب المعدات والتجهيزات المزودة فيها ونذكر منها:

1. السكريبرات ذاتية الحركة ولا تحتاج في عملها إلى مساعدة في الدفع أو السحب:

تستخدم هذه المعدّات في الأراضي الغضارية الرخوة، ويمكن الاستفادة منها في عمليات إحضار التربة المحسنة، بحيث يتم قشط المواد من أماكن ونقلها إلى أماكن أخرى. تتضمن مقطورة السكريبـــر محركاً كهربائياً يأخذ طاقته عن طريق محرك الجزء القاطر الرئيسي.

يقوم هذا المحرك بتأمين التيار الكهربائي لتحريك ناقل غرّاف يسحب المواد المقشوطة، ويقوم بتعبئة هذه المواد، ضمن صندوق السكريبـــر لنقلها أو إعادة فرشها مجدّداً أو تجميعها بمكان آخر، ويمكن حصر استطاعتها وفق لما يلي:

آ- سكريبـــر الناعورة للأعمال الخفيفة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 130 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 15 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر الممتلئ بحدود 8 م^3، وعرض القشط بحدود 2.25 م، وعمق القشط بحدود 15 سم.

ب- سكريبـــر متعدد الأوعية للأعمال الخفيفة المتوسطة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 185 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 25 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر ممتلئ بحدود 13 م^3، وعرض القشط بحدود 2.9 م، وعمق القشط بحدود 40 سم.

ج- سكريبـــر الناعورة للأعمال المتوسطة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 265 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 35 طن،

والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر ممتلئ بحدود 17 م^3، وعرض القشط بحدود 3.5 م، وعمق القشط بحدود 30 سم.

د- سكريبـــر الناعورة للأعمال الصعبة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 330 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 50 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر ممتلئ بحدود 25 م^3، وعرض القشط بحدود 3.5 م، وعمق القشط بحدود 40 سم.

2. سكريبرات ذاتية الحركة قابلة للدفع والسحب:

هي سكريبرات ذات رأس قاطر ومقطورة سكريبر، وتحتاج في عملها إلى مساعد بلدوزر في دفعها أو سحبها، وتستخدم في عمليات قشط وإزاحة التربة السطحية المتماسكة، ونقلها، وإعادة فرشها، وتستخدم أيضاً في عمليات استصلاح الأراضي، وتسوية مناسيبها، ويمكن حصر استطاعتها وفق ما يلي:

آ- سكريبـــر ذاتـــي الحركة قابل للدفع للأعمال الخفيفة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 185 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 25 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر ممتلئ بحدود 13 م^3، وعرض القشط بحدود 3م، وعمق القشط بحدود 30 سم، ويحتاج في عمله إلى بلدوزر باستطاعة محرك بحدود 220 كيلووات.

ب - سكريبـــر ذاتـــي الحركة قابل للدفع للأعمال الخفيفة المتوسطة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 240 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 35 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر ممتلئ بحدود 15 م^3، وعرض القشط بحدود 3م، وعمق القشط بحدود 35 سم، ويحتاج في عمله إلى بلدوزر باستطاعة محرك بحدود 220 كيلووات.

ج - سكريبـــر ذاتـــي الحركة قابل للدفع للأعمال المتوسطة:

هو سكريبـــر بمحرك استطاعته بحدود 330 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 45 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبـــر ممتلئ بحدود 23 م^3، وعرض القشط بحدود 3.5م، وعمق القشط بحدود 40 سم، ويحتاج في عمله إلى بلدوزر باستطاعة محرك بحدود 295

كيلووات.

د - سكريبر ذاتي الحركة قابل للدفع للأعمال الصعبة:

هو سكريبر بمحرك استطاعته بحدود 410 كيلووات، ووزن تشغيل بحدود 65 طن، والسعة العظمى لصندوق السكريبر ممتلئ بحدود 33 م^3، وعرض القشط بحدود 3.75م، وعمق القشط بحدود 45 سم، ويحتاج في عمله إلى بلدوزر باستطاعة محرك بحدود 590 كيلووات.

مقارنة بين السكريبر المقطور وذاتي الحركة:

يمتاز السكريبر المقطور بتراكتور مجنزر بأنّه يملك قابلية تحرُّك جيدة، ويستطيع العمل بشكل جيد أثناء المطر وتوحُّل الطرق.

ونظراً لقوة الجر العالية، فإن هذه الآلية تستطيع بشكل ذاتي ملأ الوعاء في جميع أنواع الترب، غير أنه نظراً للسرعة الصغيرة للتراكتور m/sec (3.0-2.5) فإن مجال استخدامه يكون فقط من أجل مسافات نقل للتربة تتروح m (500-100).

أما السكريبر ذاتي الحركة، فإنَّ قابلية التحرك لديه أقل من السكريبر المقطور، ولذلك فهو يحتاج لكي يعمل جيداً إلى ظروف طرقية أفضل، وفي حال كون ملأ التربة يتم بوساطة قوى الجر ومن أجل زيادة هذه القوة وملأ الوعاء بالتربة بشكل أفضل تنفذ عملية حفر التربة وملئها بمساعدة تراكتور أو بلدوزر دافع.

إن سرعة النقل العالية للسكريبر ذاتي الحركة تسمح بنقل التربة إلى مسافة كبيرة وبما أن عملية النقل تشكل (80-90)% من زمن الدورة الكاملة للسكريبر، فإنَّ إنتاجية السكريبر ذاتي الحركة تزداد عملياً بمقدار (2-2.5) مرة.

أعمال التسوية بواسطة السكريبر

1. كشط التربة:

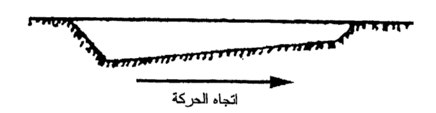
يوجد طريقتين للكشط:

آ- الكشط السطحي.

ب- الكشط المتدرج.

آ- الكشط السطحي:

يستخدم في التربة الطريَّة وفي الترب الرملية، وعند إزالة الطبقة الزراعية يعتمد على الغرز السريع والعميق لشفرة الوعاء (10-25) سم، ومع ازدياد الغرز يكون من الضروري رفع الشفرة من أجل تجنُّب وقوف الآلية نتيجة ازدياد الإجهاد على الآلية حسب (الشكل 4-41).

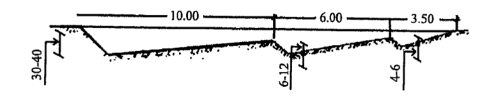


الشكل 4-41: الكشط السطحي بوساطة الكاشطات

ب- الكشط المتدرِّج:

يستخدم في الترب الأكثر قساوة، حيث يصل الغرس الأعظمي الأول (30-40) سم والأخير (4-12) سم كما هو موضح في (الشكل 4-42).

يفضّل أن يتم الكشط على طبقات رقيقة لأنّه يسهل عملية تعبئة الوعاء، ونحصل على خلخلة أفضل للتربة.



الشكل 4-42: الطريقة المتدرّجة لكشط التربة بوساطة الكاشطات

2. نقـــل التربـــة:

إن نقل الأتربة على الميول الصاعدة يؤثر بشكل سلبـــي على إنتاجية الكاشطة، ويخفّف من سرعتها، ولذلك ينصح بعدم تعبئة الوعاء بشكل كامل عند النقل على الميول الصاعدة،

وذلك من أجل الحصول على دور عمل صغير.

3. ردم التربة:

يتم التفريغ على طبقات سماكتها (10-35) سم، وذلك تبعاً لطريقة الرص ولمواصفات التربة ويمكن التحكّم بسماكة الطبقة المفروشة بواسطة رفع فوهة الوعاء أو إنـــزالها عن السطح الذي يفرش عليه الأتربة.

4. رص التربة:

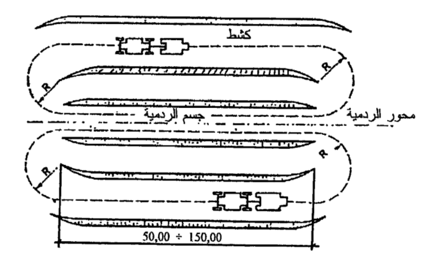
يمكن استخدام السكريبـــر في عملية الرص إذا تحقّقت الشروط التالية:

1. أن تكون رطوبة التربة قريبة من رطوبة الرص الأمثلية (الموافقة لـــ $\gamma_{d_{max}}$).
2. إذا كانت الكاشطة تقوم بمرور متساوي على الطبقات المفروشة للتربة.
3. إذا كان عرض الدواليب الخلفية لا تتجاوز عرض الوعاء.

مخططات الحركة الرئيسية للكاشطة

1. الحركة البيضويّة:

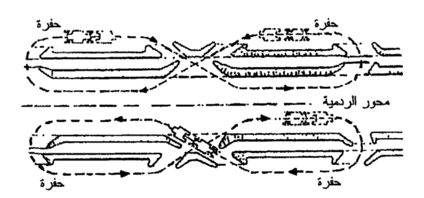
تستخدم عندما تكون جبهة العمل غير طويلة، وفي الردميات غير العالية، ويتم فيها كشط التربة من جوانب الردمية أو الحفر غير العميقة، وتقوم الآلية بدوران 180° درجة في بداية ونهاية قسم العمل حسب (الشكل 4-43).



الشكل 4-43: مخطط حركة بيضوية لتنفيذ ردمية بكشط التربة من الجوانب

2. الحركة على شكل (∞):

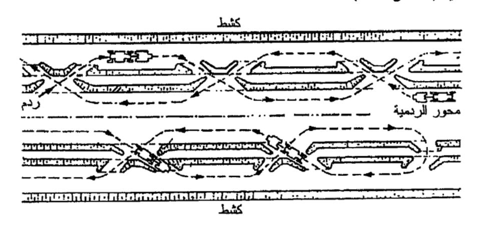
تحتاج إلى دوران واحد في كل عملية كشط وردم، وتقوم الآلية خلال دورة العمل الواحدة بالكشط والردم مرتين، وتستخدم في تنفيذ الردميّات التـــي لا يتجاوز ارتفاعها 6م، كما هو في (الشكل 4-44).



الشكل 4-44: مخطط الحركة على شكل (∞) لتنفيذ ردمية بكشط التربة من الجوانب

3. الحركة المتناوبة:

تستخدم في المنشآت ذات المسار الطويل، وهي تقلّل من دوران الآلية إلى الحد الأدنـــى كما في (الشكل 4-45).

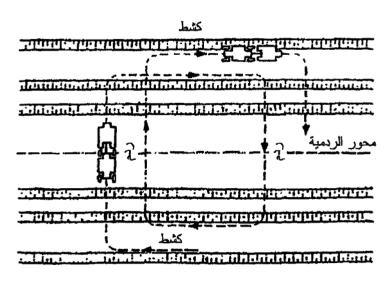


الشكل 4-45: مخطط حركة متناوبة لتنفيذ ردمية بكشط التربة من الجوانب

4. الحركة الحلزونية:

تستخدم في حال كان عرض الردمية كبير، ويتم الكشط من جوانب الردميّة وبشكل

متوافق مع محورها، أما بالنسبة للردم فيكون على مسار متعامد مع محور الردمِّية، (الشكل 46-4).



الشكل 4-46: مخطط حركة حلزونية لتنفيذ ردمية، كشط التربة من الجوانب

5. الحركة المتعرِّجة:

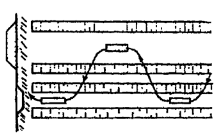
عند إقامة الردميَّات التـــي لا يزيد ارتفاعها عن 6 m، ووقوع حفر الإعارة على جانب واحد للردمية أما طول القسم فيساوي 200m أو أكثر، كما هو مبين في (الشكل 47-4-a).

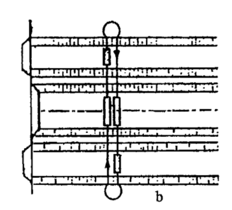
6. الحركة المكوكيِّة العرضية:

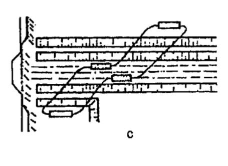
تتبع عند إقامة الردميات والسدود بالإضافة إلى الحفر والأقنية التـــي عمقها لا يزيد عن 1.5 m مع نقل التربة إلى الردمية المتوضعة عند جانبـــي الحفرة. ويتم كل من حفر وملأ التربة بشكل عمودي على محور الحفر، وذلك عند حركة السكريـــر في الاتجاهين، كما هو مبين في (الشكل 47-4-b).

7. الحركة المكوكية الطولية:

تستخدم من أجل إقامة الردميات التـــي ارتفاعها يتراوح ما بين (4-6) م. تؤمن الحركة الحلزونية والمتعرِّجة زيادة في الإنتاجية تزيد بمقدار 15% بالمقارنة مع الحركة البيضوية. كما تؤمن الحركة المكوكية العرضية زيادة مقدارها 30% عن الإنتاجية التـــي تؤمنها الحركة البيضويّة، كما هو مبين في (الشكل 47-4-c).







الشكل 4-47: حركة السكريبر

الإنتاجيـــة:

تعطى الإنتاجية الاستثمارية للسكريبـــر خلال ورديّة عمل بالعلاقة (4-15):

$$P_C = \frac{3600}{T_{cy}}.q.k_t.k_h.k_b.n_C \qquad (15\text{-}4)$$

حيث:

q: سعة الوعاء (m^3)

k_t: معامل امتلاء الوعاء بالتربة، وهي بالوضعية الطبيعية

k_h: معامل تأثير عمق الحفرة أو ارتفاع الردميّة على إنتاجية السكريبـــر النصف مقطور أو ذاتـــي الحركة (من أجل السكريبـــر المقطور $k_h = 1$)

k_b: معامل استخدام السكريبـــر زمنياً

n_C: عدد ساعات العمل الصافي خلال ورديّة عمل

T_{cy}: زمن دورة السكريبـــر (sec) ويحسب من العلاقة (4-16).

$$T_{cy} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (16\text{-}4)$$

حيث:

t_1: زمن الملأ

t_2: زمن الذهاب

t_3: زمن التفريغ

t_4: زمن العودة

t_5: زمن الدوران والمناورة

يمكن رفع إنتاجيّة السكريبر عن طريق زيادة ملأ الوعاء بالتربة k_t، وخفض مدة الدورة T_{cy}.

ومن أجل تكبير قيمة k_t تتبّع الوسائل التالية:

- تزويد وعاء السكريبر بأسنان وشفرات متدرجة.
- ملأ التربة أثناء الحركة بانحدار (10-15) درجة.

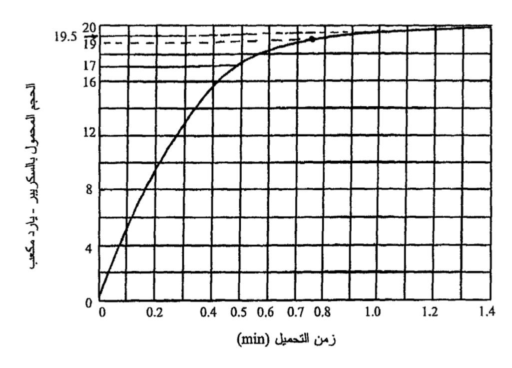
طرق زيادة إنتاجية السكريبر:

1. نكش الأرض بالريبر: لأنّ عملية الحفر تصبح أسرع وأفضل.
2. ترطيب التربة: بعض الترب تصبح أكثر قابلية للحفر بالسكريبر، إذا جرى ترطيب وعملية الترطيب تساعد كثيراً في عمليات الردم تمهيداً لرصها والوصول إلى الكثافة العظمى.
3. تحميل السكريبر في ميل نازل: لأنّ ذلك يعطيه قوة دفع إضافية، يمكن حسابها عبر إضافة 20 ليبرة في الطن من أجل ميل قدره 1%، حيث تضاف هذه القوة إلى قوة الجر مما يساعد على الحفر ويزيد الإنتاجية، ويبين (الجدول 4-5) تأثير زاوية انحدار السكريبر على إنتاجيته.

الجدول 4-5: تأثير زاوية انحدار السكريبر على إنتاجيته

المتحولات	$\alpha = 0$	%	$\alpha = 11°$	%	$\alpha = 11°$	%
مسافة قطع التربة M	53	100	34	64	17.5	33
سماكة الشريحة cm	3.7	100	8	216	13	350
معامل امتلاء الوعاء	0.83	100	0.92	112	1.0	121

4. إنقاص حمولة الصندوق أفضل من زيادته: لأنه كلما زاد حجم التربة في الصندوق زاد وزنها، وزاد ضغطها على أسفل الصندوق وبالتالي هذه التربة تبدي مقاومة معاكسة للأتربة التـــي تحاول الصعود إلى الأعلى دافعة ثقل الأتربة الموجودة فوقها؛ ولهذا السبب يكون زمن تحميل الكميات الأولى قليل بينما زمن التحميل للأجزاء التـــي تأتـــي تزيد بشكل أكبر، (الشكل 4-48).



الشكل 4-48: منحنـــي تغير الحجم – زمن التحميل

عدد السكريبـــرات التـــي يقوم بدفعها بلدوزر واحد:

السكريبـــر على دواليب لا يستطيع لوحده حفر التربة ودفعها داخل صندوقه إلاّ بمساعدة بلدوزر مجنـــزر (خلال فترة الإملاء) لأنّ السكريبـــر على دواليب له قوة جر ضعيفة ولأن احتكاك الدواليب مع الأرض غير كاف لحفر، وإملاء التربة خلال حركة السكريبر.

وبالتالي كل ورشة فيها عدة سكريبـــرات تحتاج إلى بلدوزر لمساعدتها خلال الفترة الصعبة (الإملاء)، حيث يقوم بدفعها من الخلف ثم تذهب بعد ذلك لوحدها بعد إغلاق

فتحة الصندوق لتنقل وتفرش التربة وتعود.

تكون أهمية البلدوزر في إنقاص الدورة الزمنية – وتوفير الكثير من الجهد في فترة الإملاء ومع الانتباه إلى أهمية تنظيم العمل بحيث نتلافى انتظار السكريبـــر لدوره في الإملاء والدفع.

ويرمز بـــ N عدد السكريبرات التـــي يمكن لبلدوزر واحد دفعها لمساعدتها في الإملاء ويحسب عدد السكريبرات N من العلاقة (4-17):

$$N = \frac{T_S}{T_P} \quad (17\text{-}4)$$

حيث:

N: عدد السكريبرات المدفوعة ببلدوزر واحد.

T_s: زمن الدورة للسكريبـــر (دقيقة).

T_p: زمن الدورة للبلدوزر الدافع (دقيقة)، ويحسب من العلاقة (4-18).

أي أنه بينما يذهب السكريبـــر لإكمال دورته يكون البلدوزر خلال نفس الفترة دفع عدد من السكريبرات.

$$T_p = t_1 + t_2 \quad (18\text{-}4)$$

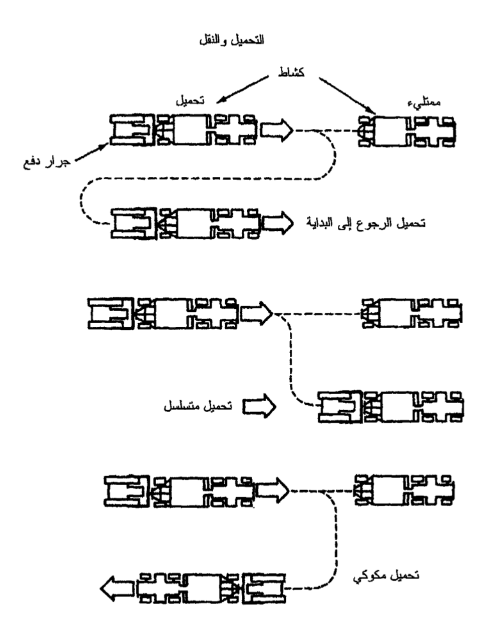
حيث:

t_1: زمن الدفع.

t_2: زمن العودة.

ودورة البلدوزر الدافع تتعلّق بعدة عوامل:

1. شروط التحميل في الحفرة التـــي يتم الحفر والتحميل فيها وأبعاد التراكتور والسكريبر.
2. الطريقة التـــي يتحرك بها البلدوزر أثناء قيامه بالدفع (الشكل 4-49) ونجد ثلاثة طرق لدفع السكريبـــر وهي:
   1. الطريقة الخلفية.
   2. الطريقة التسلسلية.
   3. طريقة المكوك.



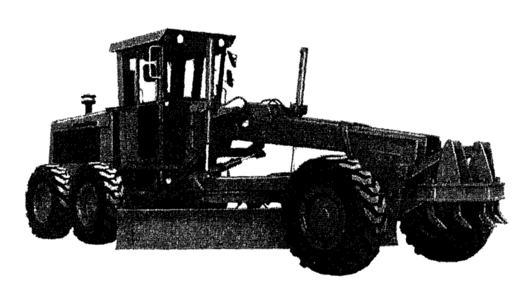
الشكل 4-49: حركة البلدوزر أثناء قيامه بدفع السكريبر

ثالثاً: الغريـــدر:

تعريـــف:

وهو آلية تدخل ضمن المجارف السطحية مخصصة بشكل رئيسي للقيام بالتسوية النهائية، (الشكل 4-50)، كما يمكن استخدامها في أعمال الجرف المحدودة التـــي لا تتجاوز /30م/ كما يمكن أن يقوم الغريدر بالأعمال التالية:

1. مزج الأتربة ومواد البناء.
2. صيانة الطرقات.
3. تنفيذ الميول الجانبية.



الشكل 4-50: الغريدر

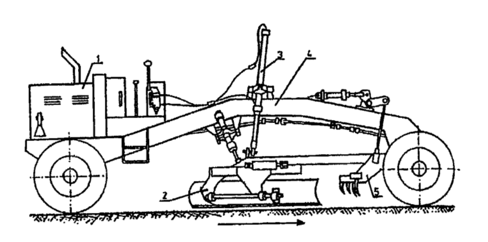
البنيـــة:

يتألف الغريدر من ترس محمول على هيكل حامل، والذي يتألف من ذراع طويلة ترتكز على دواليب مطاطية من جهة وعلى جرار من جهة أخرى.

ويكون هذا الترس قابل للدوران في شتـــى الاتجاهات، كما أنّ دواليب الغريدر قابلة للميل على محور استنادها، ويمكن أن يكون الغريدر إما ذاتـــي الحركة أو مقطور، وغالباً تستخدم الغريدرات ذاتية الحركة وجميع أنواع الغريدرات تستند على دواليب مطاطية (الشكل 4-51 و4-52).

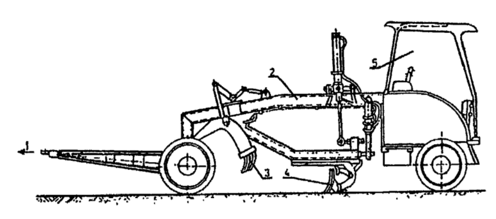
طريقة العمل:

من أجل تنفيذ مقطع معين فإنّ العمل يعتمد بشكل رئيسي على إعطاء الترس الوضعية الفراغية الصحيحة، وعند سير الغريدر يجرف الطبقات السطحية ويوزعها بشكل متساوي على السطح، (الشكل 4-53).



1- محرك، 2- ترس، 3- مكبس تحريك القوس، 4- هيكل حامل، 5- تجهيز إضافي

الشكل 4-51: بنية الغريدر المتحرك ذاتياً



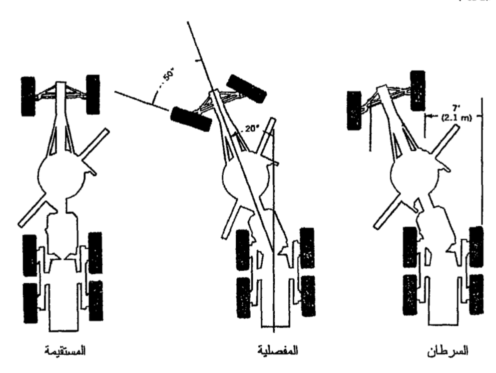
1- جرار، 2- هيكل، 3- تجهيز إضافي، 4- ترس، 5- قمرة القيادة

الشكل 4-52: بنية الغريدر

يوضح (الشكل 4-53) الأساليب الثلاثة الممكنة لتشغيل الغريدر.

1. **الطريقة المستقيمة:** في هذه الحالة تعمل الآلة بالشكل العادي.
2. **الطريقة المفصلية:** تمكن هذه الطريقة لآلة من الدوران في نصف قطر قصير.
3. **طريقة السرطان:** تسمع هذه الطريقة للعجلات الدافعة الخلفية أن تبعد بحيث تبقى على أرض قاسية، بينما تقطع الآلة الردمية أو الميل الجانبـــي أو الخندق. يمكن أن تميل العجلات الأمامية لكل من آلة التمهيد العادية والمفصلية من جانب إلى آخر. تميل

العجلات بعيداً عن القطع لتوازن الدفع الجانبـــي الناتج من ضغط التربة على الجرافة المائلة.



الشكل 4-53: وضعيات ترس الغريدر أثناء الجرف

إنَّ آلات التمهيد يتوافر لها هيكل مفصلي مما يزيد قدرتها على المناورة.

ويوضّح (الشكل 4-54) أوضاع الترس لآلة التمهيد.

الإنتاجيـــة:

يتميز الغريدر بطبيعة العمل المستمر، وتؤخذ إنتاجيته منسوبة إلى مساحة السطح المنفّذ بالساعة.

* الإنتاجية الفنية من العلاقة (4-19):

$$Q_t = \frac{3600 \cdot L \cdot B}{m \cdot \sum ti} m^2/h \qquad (19\text{-}4)$$

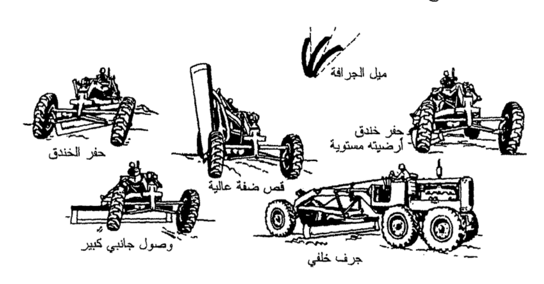
حيث:

L: طول الشوط المنفذ (m).

B: عرض الشوط المنفذ (m)، من العلاقة (4-20).

M: عدد الأشواط المنفذة.

Σti: مجموع الأزمنة الجزئية (sec).



الشكل 4-54: أوضاع الترس لآلة الغريدر

– عندما ننفذ عملية التسوية بحيث يكون الترس مائل عن الأفق.

$$B = L \cdot \cos \varphi \qquad (20\text{-}4)$$

حيث:

φ: زاوية ميلان الترس.

أما عندما نريد تنفيذ الشوط المجاور، فإننا لا نفذ الشوط الذي قبله بأكمله، وإنما نحقق مسافة تداخل b = 0.5m ويكون عرض الشوط المنفذ فعلياً هو، العلاقات (4-21)، (4-22)، (4-23):

$$B = L \cdot \cos \varphi - b \qquad (21\text{-}4)$$

$$\Sigma ti = t_1 + t_2 \qquad (22\text{-}4)$$

$$t_1 = \frac{L}{v} \qquad (23\text{-}4)$$

حيث:

L: طول الشوط.

V: سرعة الغريدر بالتسوية (m / sec).

$\sum ti$: مجموع الأزمنة الجزئية.

t_1: زمن الشوط (sec).

t_2: الزمن اللازم للمناورة وتغير الاتجاه (sec).

* الإنتاجية الاستثمارية: Q_e

يتم حساب الإنتاجية الاستثمارية Qe من العلاقة (4-24):

$$Qe = Q_t * k_1 * k_2 * k_3 \qquad (24\text{-}4)$$

حيث:

Qt: الإنتاجية الفنية.

k_1: معامل يأخذ بعين الاعتبار التوقفات الطويلة خلال العمل لأسباب تنظيميّة وفنية منسوبة لورديّة عمل واحدة.

k_2: معامل يأخذ بعين الاعتبار نوع التربة، وصعوبة التعامل معها.

k_3: مهارة السائق وظروف المناخ والرؤيا.

رابعاً: التركـــس:

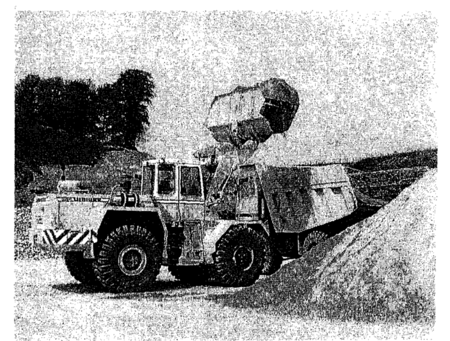
تعريـــف:

آلية عامة متعددة الوظائف ذاتية الحركة ذات عمل دوري تتمتع بالقدرة على المناورة، وتستخدم في تحميل التربة وأحياناً حفر التربة متوسطة القساوة، (الشكل 4-55).

كما يمكن أن يقوم بالأعمال التالية:

1. حفر الترب ذات المقاومة الضعيفة والمتوسطة.
2. تحميل التربة المحفورة والمجروفة بواسطة البلدوزر.
3. تحميل الحصويات في المقالع.
4. تحميل الأتربة من حفر الاستعارة.
5. نقل التربة لمسافات محدودة ويبيِّن (الشكل 4-56) حركة التركس عند قيامه بالتحميل على سيارة.

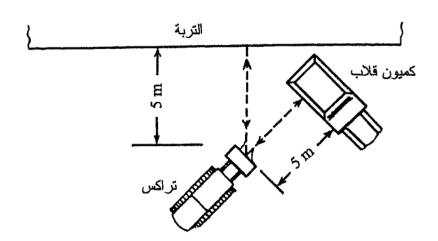




الشكل 4-55: التركس

ميزات التركـــس:

1. سهولة الحركة.
2. سرعة العمل.
3. انخفاض تكاليف التشغيل.



الشكل 4-56: حركة التركس عند التحميل على سيارة

أنواعـــه:

1. تركس يتحرك على دواليب مطاطية:

حيث يمكن أن يتم وقاية الدواليب المطاطية بواسطة سلاسل معدنية توضع خاصة في المناطق الوعرة، ويبين (الشكل 4-57) الأنواع المختلفة للتركسات ذات الدواليب المطاطية.

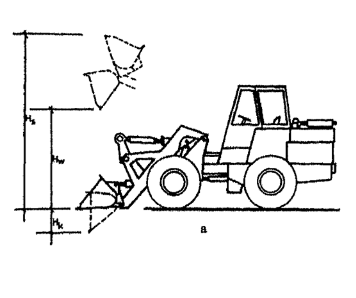
- ميزاتـــه:

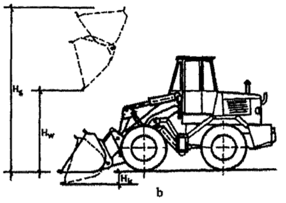
1. خفة الحركة.
2. إنتاجية عالية.
3. سهولة القيادة.

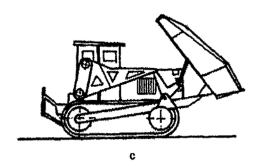
2. تركس يتحرك على جنازير:

- ميزاتـــه:

1. أكثر استقراراً من المدولب.
2. يكون استخدامه مجدي في الترب الصعبة والصخرية لأنّه يؤمن قوى انغراس كبيرة.





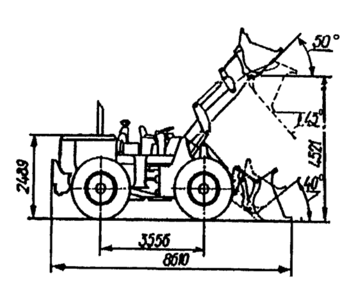


a- تركس مدولب نوع t-2   b- تركس P-31   c- تركس مجنـــزر

الشكل 4-57: مخطط عمل لأنواع مختلفة من التركسات

بنية التركـــس:

يتألف من آلية رئيسة (جرار)، ومن تجهيزات العمل، والتـــي تكون معلّقة على الآلية الرئيسة (الشكل 4-58).



الشكل 4-58: تركس جبهي مبيناً عليه تجهيزات العمل الرئيسة

الإنتاجية:

يبيِّن (الشكلان 4-59 و4-60) إنتاجية التركس المتحرك على دواليب والجنـــزر حسب مسافة التحميل، ويمكن حسابها من العلاقة (4-25):

$$Q = n \cdot v \cdot k_t \; m^3 / h \qquad (25\text{-}4)$$

حيث:

Q: الإنتاجية الفنية (m^3 / h)

n: عدد دورات العمل بالساعة، وتحسب بالعلاقة (4-26):

$$n = \frac{3600}{t_o + \frac{2L}{v}} \qquad (26\text{-}4)$$

حيث:

v: سعة الوعاء m_3.

k_t: معامل امتلاء الوعاء بالتربة الطبيعية.

t_0: استمرارية دور التحميل.

L: مسافة التحميل.

V: سرعة الحركة الوسطية.

الإنتاجية الاستثمارية:

$$Q_e = Q_t * k_1 * k_2 * k_3 \quad (27\text{-}4)$$

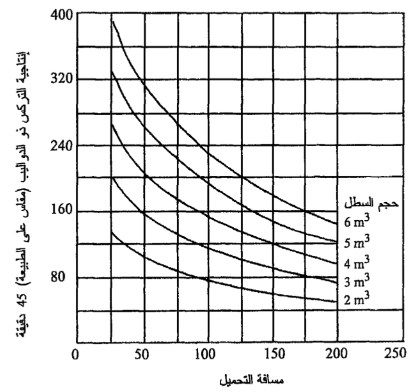
حيث:

Q_t: الإنتاجية الفنية.

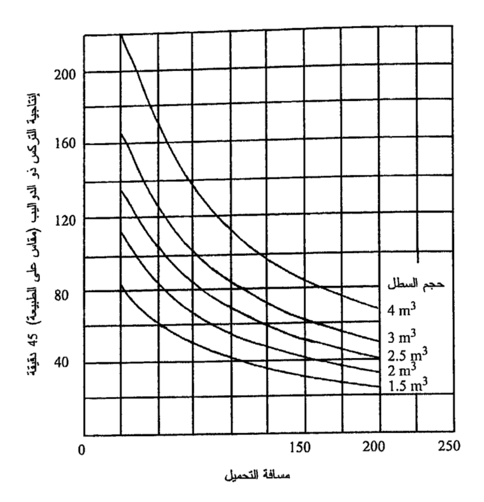
k_1: معامل يأخذ بعين الاعتبار التوقفات الطويلة خلال العمل لأسباب تنظيميّة وفنية منسوبة لورديّة عمل واحدة.

k_2: معامل يأخذ بعين الاعتبار نوع التربة، وصعوبة التعامل معها.

k_3: مهارة السائق وظروف المناخ والرؤيا.



الشكل 4-59: إنتاجية التركس المدولب



الشكل 4-60: إنتاجية التركس المجنـــزر

تنفيذ الأعمال الترابية باستخدام التركس:

تبعاً لاستطاعة التركس ولقدرة التحميل التـــي يملكها بالإضافة إلى الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة يمكن أن نميز الطرق التالية التـــي يتبعها التركس في ملء وعائه.

– الطريقة المتسلسلة:

تأخذ الحافة القاطعة للوعاء الوضعية الأفقية أو تميل للأسفل بزاوية 4-5° وعندما يتحرك التركس بسرعة 1.4-1.8 km/h ينغرز الوعاء في التربة إلى عمق 0.85-1 من عمق الوعاء. بعد انغراز الوعاء وتوقف الآلية يتم تدوير الوعاء حتـــى مسنده ثم يرفع إلى وضعية النقل. وفي حال تمتع السائق بمهارة جيدة يمكن دمج عملية رفع الذراع مع عملية تحرك الآلية إلى مكان

التفريغ. وأكثر ما تستخدم هذه الطريقة عند غرف وتحميل المواد الانهيارية (الرمل مثلاً).

- الطريقة الجامعة:

ينغرز الوعاء في التربة إلى عمق 0.5 - 0.6 من عمق الوعاء وأثناء الحركة يتم تدريجياً تدور الوعاء وعندها تكون السرعة بحدود 5-2.5 km/h. تعتبـــر طريقة الحفر هذه أكثر فاعلية للآليات التـــي حمولتها لا تزيد عن 10 طن من أجل استخراج الترب السهلة المعالجة وعند تحميل مواد البناء.

- طريقة الحفر:

يميل الوعاء باتجاه الأرض بزاوية 3-5° وبعد غرز الوعاء إلى عمق 0.4 -0.5 من عمق الوعاء يتم رفع الذراع.

عند الخروج من منطقة العمل يتم تدوير الوعاء لتجنب ضياع التربة. هذه الطريقة ذات جدوى عند استخراج الترب الكثيفة والمتماسكة ومن أجل ارتفاع لموقع العمل لا يقل عن 1.5 م.

- الطريقة المختلطة:

أثناء انغراز الوعاء الذي تميل أرضيته بزاوية 3-5° وفي الوقت نفسه مع اقلاع التركس يتم بشكل متناوب إجراء تدوير الوعاء بزاوية 2-3° ورفع الذراع بزاوية 5-10° حتـــى لحظة خروج الوعاء من منطقة العمل، وتؤمن هذه الطريقة العمل الجيد والملء الأفضل لوعاء التركسات التـــي حمولتها تزيد عن 10 طن وخاصة في حالات الترب القاسية والمعالجة.

إن عملية تفريغ الوعاء يمكن أن تتم بطريقتين:

في الطريقة الأولى يجري رفع الذراع إلى مسافة تكفي لدوران الوعاء. أما في الطريقة الثانية فيتم رفع الذراع إلى ارتفاع صندوق الشاحنة وبحيث تقع أسنان الوعاء في حدود مركز الصندوق، بعد ذلك يدور الوعاء مع رفع محدود للذراع. وهنا يكون ارتفاع التفريغ متعلق بزاوية دوران الوعاء في اللحظة التـــي يفرغ فيها تماماً من التربة.

يتعلق شكل الحركة التـــي تتبع أثناء العمل بنوعية التركس. من أجل التركس الجبهوي الذي يسير على دواليب فإن الشكل الأكثر انتشاراً يكون الدوران بالمتكرر للتركس بزوايا

مختلفة أثناء ابتعاده عن منطقة العمل. عند ذلك يتم توضع الشاحنات الجاري ملؤها بشكل موازي أو بزاوية معينة لجبهة العمل.

عند استخدام التركس المجنـــزر أو ذي الدواليب المضغوطة يفضل إتباع شكل العمل المكوكي. وهنا يتحرك التركس إلى الأمام والخلف بمسافة 10-20 م عمودياً على جبهة العمل من دون دورانات. تقوم الشاحنة أثناء ذلك بحركة مكوكية موازية لجبهة العمل وإلى مسافة تكفي لمرور التركس.

المسافة الأصغرية للنقل حتـــى 10 م تتحقق عند عمل التركس المزود بتجهيزات حفر تستطيع الدوران في المستوي حتـــى 90°، وهنا يمكن أن تتوضع الشاحنات بزوايا مختلفة بالنسبة لجبهة العمل.

إن التركس أثناء تنفيذه للأعمال الترابية يستخدم وفقاً للمخططات التكنولوجية التالية:

- مخطط (حفر – نقل): وهو أكثر استعمالاً في حالات الترب السهلة الاستخراج، وفيه يجري قطع التربة بشرائح رقيقة بإتباع طريقة الحفر أو الطريقة المختلطة. يعتبـــر هذا المخطط فعال بشكل خاص في إنشاءات الطرق والإنشاءات المائية.
- مخطط (حفر – تفريغ مؤقت – نقل): وهو أكثر استعمالاً عند تسوية الموقع واستصلاح الأراضي.
- مخطط (خلخلة – حفر – نقل): ويستخدم بعد الخلخلة المسبقة للتربة القاسية.

خامساً: الريبـــر:

هو آلية يتم سحبها بوساطة جرار أو بلدوزر، وهو يستطيع نكش الصخور متوسطة القساوة واقتلاعها ودفعها كما هو في (الشكلين 4-61 و4-62).

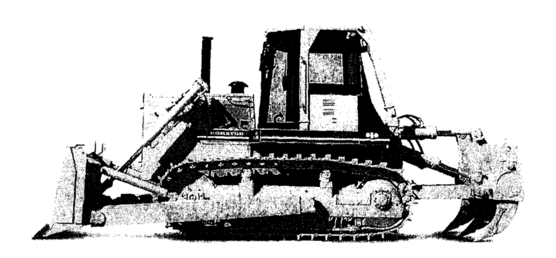
ميِّزات استخدام الريبـــر:

1. سرعة كبيرة في الحفر.
2. إنقاص التكاليف.

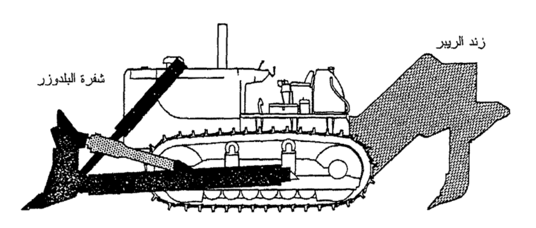
مســــــاوئه:

لا يستطيع العمل والحفر في كل أنواع الصخور، فهو لا يستطيع حفر الصخور المتجانسة

القاسية، بل الصخور القابلة للنكش والحفر والمتوسطة القساوة، وتمّ اكتشاف جهاز من أجل تحديد قابلية النكش هو جهاز السيسموغراف.



الشكل 4-61: الريبـــر



الشكل 4-62: المحراث (النكاش) للصخور

– مبدأ عمل جهاز السيسموغراف:

إنّ قابلية الصخور للنكش لها علاقة بسرعة الصوت الذي يخترق الصخور المدروسة وبالتالي فإنّ إمرار موجات صوتية من خلال الصخور، وقياس سرعة تلك الأمواج يمكن تقدير قابلية الصخور للنكش ووُجد على أنه:

- الصخور القابلة للنكش تنتشر خلالها الموجات الصوتية بسرعات منخفضة.
- الصخور غير القابلة للنكش تنتشر فيها الموجات بسرعة كبيرة.
- الصخور التـــي تخترقها الموجات بسرعة متوسطة فإنّها تكون صخور حديّة.

- فوائد استخدام جهاز السيسموغراف:

1. معرفة عمق الطبقات الموجودة في الأرض دون القيام بسبور أو حفريات.
2. تحديد إمكانية حفرها ونكشها بواسطة الريبر.
3. أخذ فكرة عن نوع التربة أو الصخور.

* أنواع جهاز الريبـــر:

يتم سحب زند الريبـــر خلف البلدوزر، ونادراً ما يجري سحبه بواسطة جرار عادي لذلك تجهز أنواع البلدوزر الكبيرة بزند ريبـــر من الخلف، وبالتالي عندما يعمل في الأراضي الصخرية فإنّ شفرته تكون مرفوعة إلى الأعلى والزند يقوم بنكش وحفر الصخور وبعد عدة جولات للريبـــر تقوم الشفرة بدفع التربة والصخور التـــي جرى نكشها بزند الريبر. ويتمّ نـــزول زند الريبـــر بواسطة مكابس هيدروليكيّة. ومن أنواعه:

1. ريبـــر مجهز بزند واحد:

الزند الواحد يؤمّن قوة نكش أكبـــر من الزنود المتعدد لأنّ قوة الضغط تكون مركزة على زند واحد، وبالتالي يمكنه اختراق الأرض بقوة ودعم كبيرين.

2. ريبـــر مجهز بزندين أو أكثر.

ويوجد هناك طريقتان لاتصال زند الريبـــر بالبلدوزر:

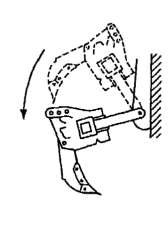
1. اتصال بشكل متوازي أضلاع مفصلي (الشكل 63-4-a):

يؤمّن هذا الاتصال صعوداً وهبوطاً الزند بدون أن يغيِّر اتجاهه أي يبقى دوماً متعامداً مع الأرض.

وهذه الطريقة أفضل لأنّ الزاوية الثابتة في جميع الأعماق تؤمّن قطعاً ونكشاً جيدين وثباتاً في الإنتاج وتآكلاً أقل.

2. اتصال بشكل مفصل واحد (الشكل 63-4-b):

الزند عندما يتحرك حول مفصله، فإنَّه يرسم قوس دائرة وبالتالي لا يبقى دوماً متعامداً مع الأرض.



b- زند ريبر مفصلي

a- زند ريبر ذو مفصل متوازي الأضلاع

الشكل 4-63: طريقة اتصال زند الريبـــر بالبلدوزر

شروط رفع إنتاجية آليات بناء الطرق:

يجب العمل دائماً على رفع الإنتاجية الفعلية الاستثمارية للآلية، وتخفيض الفرق بينها وبين الإنتاجية النظرية التصميمية عن طريق:

1. الاستفادة القصوى من طاقة الآلية الكاملة وفق ظروف العمل المختلفة.
2. تنفيذ أعمال الصيانة بشكل دائم.
3. تدريب العمال والصانعين ورفع كفاءاتهم.
4. اختيار الطقس المناسب لتنفيذ الأعمال، أو عن طريق اختيار الآلية المناسبة لتنفيذ الأعمال المطلوبة.
5. تنسيق عمل الآليات ضمن مجموعة العمل الواحدة.
6. اختصار الزمن اللازم لتنفيذ الأعمال عن طريق التصميم المتقن لأجهزة العمل الذي يؤمّن تنفيذ العمل المطلوب بأقل جهد وضياع ممكن، وبفترة زمنية قصيرة.

3.2.4 آلات الثقب:

وهي آلات تستخدم لحفر ثقوب تفجير في الصخر، ثمَّ تعبَّأ هذه الصخور بمواد متفجرة وتفجر بعد ذلك هذه المتفجرات، كما هو موضح (بالشكل 4-64).



الشكل 4-64: ثقب الصخور

تشمل آلات الثقب الشائعة:

1. المثقاب الدقاق.
2. المثقاب الدوَّار.
3. المثقاب الدقاق الدوَّار.

تخترق المثاقيب الدقاقة الصخر بفعل الاصطدام فقط. تدور ريشة المثقاب بعد الانتهاء من الدق للمساعدة في تنظيف الثقب من الصخر المحفور، لأنَّه لا يستطيع الدوران أثناء عملية الدق.

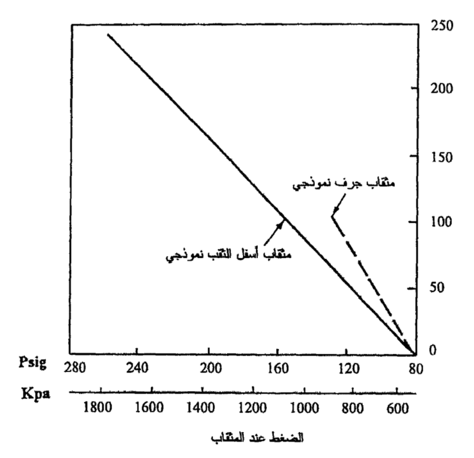
تحفر المثاقيب الدوَّارة ثقباً على شكل دائرة بواسطة تدوير ريشة المثقاب تحت الضغط على الصخر. تدمج المثاقيب الدوّارة – الدقاقة عملية الدق والدوران، لكي تخترق الصخر بسرعة كبيرة مقارنة بسرعة المثقاب الدقّاق فقط. وهناك مثاقب دق خاصة لها مزايا مقارنة مع مثاقب الدق العادية، ومن مزاياها: عمر قضيب الثقب أطول بسبب أنَّ قضبان الحفر غير معرَّضة للاصطدام، ويحتاج إلى كمية هواء أقل لتنظيف الثقب، ومستوى الضوضاء أقل، وفاقد الطاقة بسيط بين المثقاب والريشة. مع أنَّها تتوافر كمثاقيب مثبتة على جنـــزير إلا أنها عادة، تثبت على آلة ثقب دوَّارة، لأنَّه يحتاج إلى قطر ثقب كبير نسبياً ليعطي مكاناً كافياً لكتلة المثقاب، ويوضح (الجدول 4-6) الخصائص النموذجية لمعدات ثقب الصخور.

الجدول 4-6: الخصائص النموذجية لمعدات ثقب الصخر

نوع المثقاب	أقصي قطر للمثقاب (سم)	أقصي عمق (م)
مثقاب يدوي	6.3	6.1
مثقاب جرف	11.4	4.6
مثقاب علي عربة	15.2	15.3
مثقاب علي جنـــزير	15.2	15.3
مثقاب دوَّار	183	305
دوَّار ودقاق	15.2	46

يعتمد معدَّل الثقب (معدل الاختراق) على صلابة الصخر، ونوع وطاقة المثقاب، ونوع ريشة الثقب المستخدمة.

إنَّ زيادة ضغط الهواء في المثقاب ينتج عنه زيادةً في معدّل الثقب (الشكل 4-65) لكن وللحفاظ على السلامة فإنَّ الضغط في المثقاب يجب أن لا يزيد عن أقصى ضغط للتشغيل الآمن المحدد من قبل مُصنع المثقاب. إضافة إلى ذلك فإنَّ زيادة ضغط الهواء سوف يقلّل من عمر المثقاب وذراع المثقاب وريشة الثقب، وكذلك تزيد من تكاليف صيانة وإصلاح المثقاب. لذلك يجب عمل اختبارات حقليّة لتحديد ضغط الثقب الذي يعطي أقلَّ تكلفة لكلِّ وحدة حفر صخر.

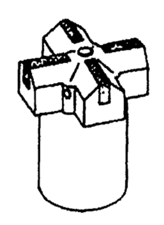


الشكل 4-65: اختراق المثقاب وضغط الهواء

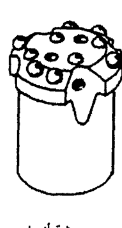
ريشة وذراع الثقب:

يوضّح (الشكل 4-66) الأنواع الرئيسة لريشة ثقب الصخور. تشمل ريشات الثقب الرئيسية في الدقاق ريشات نوع تقاطع (+)، وريشات نوع تقاطع (x)، وريشات أزرار. يتوافر كلا النوعين بحواف قطع إمَّا صلب مصمت، وإما كربايد التنجستن. ونظراً لأنَّ ريشة كربايد التنجستن تحفر أسرع وعمرها أطول من ريشة الصلب المصمت فإنَّها تستخدم بكثرة.

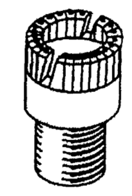
تشمل الأنواع الشائعة لريش المثقاب الدوار ريشةً مجوفةً (الشكل 66-4-b)، ريشة قطع دوَّارة، أو ريشة مخروطية (الشكل 66-4-c)، تتوافر الريشة المجوَّفة كريشة ألماس مجوَّفة وريشة ثقب. يستخدم في ريشة الثقب الألماسية مجموعة من الألماس الصغير، مرتبة كمصفوفة في جسم الريشة، كعامل قطع لاختراق الصخر بسرعة.



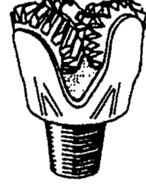
b- ريشة تقاطع 4 نقاط



a- ريشة أزرار



d- ريشة ماس مجوفة



c- ريشة دوارة

الشكل 4-66: الأنواع الرئيسية لريش ثقب الصخور

يسمى القضيب المعدنـــي الذي يربط بين المثقاب الدقاق وريشته قضيب الثقب أو بالذراع. يتوافر ذراع الثقب بقطاعات قطرها من (2.2 سم) إلى (5.1 سم) وطولها (0.61 م) إلى (6.1 م). تثبت قطاعات حديد الثقب بواسطة نهايات مسنَّنة بحيث يمكن إضافة قطاعات عند استمرار الحفر. وتكون القطاعات مجوفة لتسمح بمرور الهواء إلى الريشة لتنظيف الحفرة. يسمى قضيب الثقب المستخدَم للمثقاب الدوّار بأنبوب الثقب. وتتوافر بأطوال تتزايد بمقدار (1.5 م) ابتداءً من (3.1 م) وتكون مسنَّنة من كلتا النهايتين. يكون أنبوب الثقب مجوَّفاً

ليسمح بمرور الهواء المضغوط أو سائل الحفر إلى قاع الحفرة.

الثقب والصخر الناتج:

يعتمد اختيار مقاس الحفر وعمقه وتباعده، وكذلك كميّة المتفجرّات المستخدمة لكلّ حفر، على درجة تكسر الصخر المرغوبة ونوع الصخر، وصلابته، ونوع المواد المتفجرّة المستخدمة. بشكل عام، تنتج الحفر الصغيرة المتقاربة جزيئات صخر صغيرة، بينما تنتج الحفر الكبيرة والمتباعدة جزيئات صخر كبيرة. ومع أنه، تمّ تطوير معادلات لتقدير المسافة بين الثقوب بناءً على مقاومة الصخر وضغط التفجير إلا أنّه يحتاج أن يعمل اختبارات تفجير لتحديد المسافة المُثلى بين الثقوب وكمية المواد المتفجرة لكلّ ثقب. يشير (الجدول 4-7) إلى المسافات النموذجية بين الثقوب.

الجدول 4-7: المسافة النموذجية بين الثقوب (نموذج بشكل مستطيل)

نوع الصخر	قطر الثقب (سم)							
	5.7	**6.4**	**7.6**	**8.9**	**10.2**	**11.4**	**12.7**	**14.0**
صخر قوي (جرانيت، بازلت)	1.4	1.5	1.8	2.1	2.6	2.7	3.0	3.4
صخر متوسط (حجر جيري)	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.5	3.8
صخر ضعيف (حجر رملي، طفل)	1.8	2.0	2.4	3.0	3.4	3.7	4.1	4.7

يوضح (الشكل 4-67) أنماط الثقوب الرئيسية لحفر الصخور. إنّ نمط المستطيل أكثر استخداماً، ولكن النمط المتداخل يقلل من كمية الصخر الكبير الناتجة. يمكن استخدام المعادلة (4-28) لحساب الحجم الناتج للصخر المُفجر لكل ثقب باستخدام النمط المستطيل. والعمق الفعّال لثقب التفجير هو متوسط العمق لمنطقة الحفر بعد التفجير، وليس عمق الثقب الأصلي.

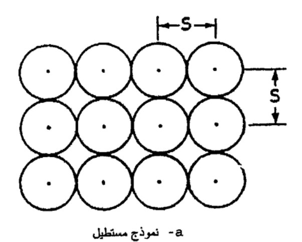
$$\text{حجم الثقب } (m^3) = H \times S^2 \qquad (28\text{-}4)$$

حيث:

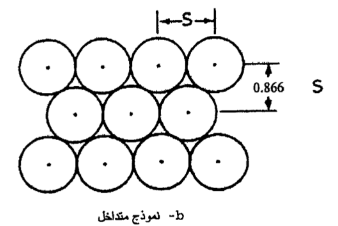
S: المسافة الدنيا بين مركزي ثقبين متجاورين (m).

H: عمق الثقب الفعّال (m).

ويمثل (الشكل 4-67) نماذج الثقب الرئيسة.



a- نموذج مستطيل



b- نموذج متداخل

الشكل 4-67: نماذج الثقب الرئيسة

يفضل إيجاد عمق الثقب الفعّال عن طريق إجراء تجارب تفجير مبدئية. وقد وجد أنّ متوسط عمق الثقب الفعّال حوالي 90% من عمق الثقب الأصلي.

3.4 أعمال الردم

1.3.4 مقدمـــة

يقصد بأعمال الردم ردم وطمر وفرش وتوزيع التربة، وتصادف أعمال الردم في أغلب المشاريع والأعمال الترابية مثل: إنشاء السدود السطحيّة التجميعية، أعمال بناء السكك الحديدية – أعمال الطرق – أعمال ردم حفرة الأساسات (الردم العكسي).

يمكن استخدام تربة الحفر نفسها في أعمال الردم إذا كانت هذه الرتبة صالحة للردم وقابلة للرص، أو تستخدم تربة غير ناتجة عن الحفر إذا كانت تربة الحفر غير صالحة للردم، وإذا كانت التربة المجلوبة ذات خواص أحسن وقابلية أفضل للرص.

في أعمال الردم تستخدم سيارات نقل التربة والبلدوزرات والكاشطات، وهناك قواعد مهمة عند تنفيذ أعمال الردم وهي:

1. يجب أن تنفذ كل طبقة من طبقات الردم بنفس السماكة، وعلى كامل المقطع.
2. يجب أن تنفذ كل طبقة من طبقات الردم من نفس نوع التربة من حيث الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وعلى كامل المقطع.
3. يجب أن تتناسب سماكة كل طبقة من طبقات الردم مع عمق تأثير الرص لآلية الرص.
4. يجب في حال الردم على سماكات كبيرة استخدام إحدى طرق رص التربة في العمق.
5. يجب أن تنفذ الطبقات المردومة من مواد مترابطة بميول جانبية معيّنة، ويجب أن ترص مباشرة بعد إتمام الردم.
6. يجب الاهتمام بالتنسيق بين إنتاجيات آليات الحفر والنقل والردم والتسوية والرص.
7. يجب الحيلولة دون تشكل آثار عميقة لعجلات الآليات المستخدمة في نقل وردم التربة على سطح التربة المردومة.

2.3.4 أنواع الردم

1. الردم الطبقي:

حيث يتم ردم وفرش التربة على طبقات متتالية متوضّعة فوق بعضها البعض وسماكات تتراوح بين (15-40) سم وتتعلّق هذه السماكة بنوع آلية الرص.

2. الردم الجبهي:

يتم عند تنفيذ ردميات بارتفاعات كبيرة نسبياً مثلاً: طابق ترابـــي لطريق أو ردمية سد، كما يستخدم أيضاً لردم المنخفضات أو الطبقات العميقة أو الخنادق.

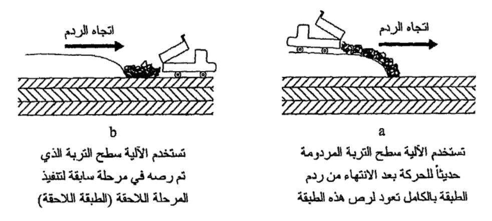
ومن مساوئ الردم الجبهي أنّه لا يمكن استخدام طرق الرص السطحي العادية إنّما يجب استخدام طرق رص التربة في العمق.

3. الردم الجانبـــي:

وهو أحد أنواع الردم الجبهي، ويستخدم على الأغلب عند تعريض ردميّة قائمة.

- أشكال الردم الطبقي:

1. تستخدم الآلية سطح التربة المردومة حديثاً للحركة، وبعد انتهاء ردم الطبقة بالكامل تعود لرص هذه الطبقة كما في (الشكل 68-4-a).
2. تستخدم الآلية سطح التربة الذي تم رصّه في مرحلة سابقة لتنفيذ المرحلة اللاّحقة كما في (الشكل 68-4-b).



تستخدم الآلية سطح التربة الذي تم رصه في مرحلة سابقة لتنفيذ المرحلة اللاحقة (الطبقة اللاحقة)

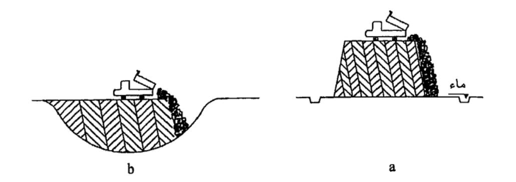
تستخدم الآلية سطح التربة المردومة حديثاً للحركة بعد الانتهاء من ردم الطبقة بالكامل تعود لرص هذه الطبقة

الشكل 4-68: يبين أشكال الردم الطبقي

- أشكال الردم الجبهي:

1. يتم الردم على كامل الارتفاع على شكل طبقات مائلة كما في (الشكل 69-4-a) وفي هذه الحالة تتحرك السيارة على السطح العلوي للردميّة. لجلب وقلب باقي المقطع وهكذا حتـــى يتم بناء كامل المقطع.

2. ردم منخفضات عميقة: يتم ردم التربة على كامل الارتفاع، وعلى شكل طبقات مائلة ويمكن استخدام سطح الردمية كسطح حركة للسيارات القلّابة (الشكل 69-4-b).



الشكل 4-69: أشكال الردم الجبهي

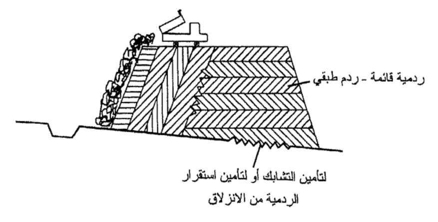
– أشكال الردم الجانبـــي:

1. إذا كان لدينا مجموعة ردميّات طبقية على مستوى مائل.
2. وإذا اضطررنا لتعريض الردميّة لسبب من الأسباب نقوم بردم جبهي على جانب الردميّة الطبقية، ونردم على كامل الارتفاع ونقوم بالرصّ بإحدى طرق رص التربة في العمق لرص هذه التربة.
3. ومن أجل إيجاد تماسك بين الردميتين نقوم بإيجاد تدرجات على سطح الردمية القديمة من أجل تشابك هاتين الردميتين كما هو موضح في (الشكل 4-70).
4. إذا كانت التربة رملية مفككة فإن التشابك باتجاه الأسفل.
5. أما إذا كانت التربة غضارية فإن التشابك باتجاه الأعلى.

الطرق الصحيحة لتنفيذ أعمال الردميّات من أنواع مختلفة من التربة:

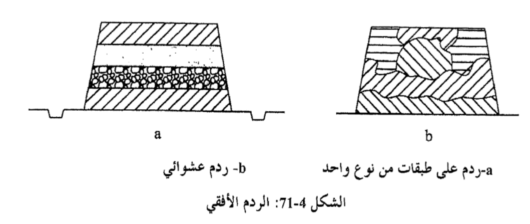
يفضل عند القيام بأعمال الردميات استخدام طبقات من التربة المتجانسة وبطبقات ذات سماكة واحدة على طول الردمية.

ويمكن استخدام أنواع مختلفة من التربة عند تنفيذ الردميّات ولكن يفضل أن تكون كل طبقة مؤلفة من نوع واحد من التربة أي بنفس الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وهذا ما يؤمن هبوط متساوي لكامل الطبقة كما في (الشكل 71-4-a).



الشكل 4-70: الردم الجانبـــي

وفي حال مخالفة الشروط السابقة فسوف نحصل على هبوطات متفاوتة، وهذا ما يؤدي إلى تشوهات غير منتظمة للسطح العلوي للردمية، الذي تقام عليه المنشآت، مما يؤثر سلبياً على هذه المنشآت ويؤدي إلى حدوث تشوهات فيها، كما في (الشكل (71-4-b).



a-ردم على طبقات من نوع واحد　　　b- ردم عشوائي

الشكل 4-71: الردم الأفقي

3.3.4 انتخاب التربة الصالحة للردم

باستعمال التصنيف الموحدّ (U.S.C.S) والمسمّى أيضاً (تصنيف ASTM-D-287-66T):

بعد أن يقوم المهندس باستعمال التصنيّف الموحّد المار ذكره آنفاً من أجل تحديد تصنيف الترب المقترحة للردم وخاصة الترب القريبة من مكان المشروع، يمكن للمهندس استعمال (الجداول 4-8 ,4-9 ,4-10) التـــي تعطي المعلومات الهامة عن كل صنف التربة:

1. صنف التربة.
2. كثافتها الجافة (بين الحدين الأدنـــى والأقصى).

3. قابليتها للانضغاط وللانتفاخ.

4. صلاحيتها للردم بشكل عام.

5. صلاحيتها كأرض طبيعيّة في مناطق الحفر.

6.صلاحيتها كطبقة أساس للطرق والمطارات.

7. قابليتها للرص، والآليّة الأفضل استعمالاً لرصّها.

الجدول 4-8 – الجزء الأول: تصنيف التربة

صنف التربة	GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC
الكثافة الجافة النظامية	2.16-2.16	1.84-2.00	1.92-2.00	1.84-2.08	1.76-2.08	1.60-1.92	1.76-2.00	1.68-2.00
قابلية الترب للانضغاط والانتفاخ	لا	لا	قليل	قليل	لا	لا	قليل	وسط
صلاحيتها للردم	جيدة	مقبولة	مقبولة	مقبولة	جيدة	مقبولة إذا كانت كثيفة	مقبولة إذا كانت كثيفة	مقبولة
صلاحيتها كأرض طبيعية تحت الردم أو أسفل الحفر	ممتازة	ممتازة إلى جيدة	ممتازة إلى جيدة	جيدة	جيدة	جيدة إلى ملائمة	جيدة إلى ملائمة	جيدة إلى ملائمة
صلاحيتها كطبقة أساس للطرق والمطارات	جيدة	ضعيفة إلى مقبولة	مقبولة إلى ضعيفة	جيدة إلى مقبولة	مقبولة إلى ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة	مقبولة إلى ضعيفة
قابليتها للرص وآليات الرص المناسبة لها	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة إلى مقبولة	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة إلى مقبولة
	مداحي مطاطية أو عادية رجاجة	مداحي مطاطية أو عادية رجاجة	مداحي مطاطية أو أرجل غنم	مداحي مطاطية أو أرجل غنم	مداحي رجاجة بشكل عام	مداحي رجاجة	مداحي رجاجة أو أرجل غنم	مداحي رجاجة أو أرجل غنم

الجدول 4-8 – الجزء الثاني: تصنيف التربة

صنف التربة	ML	CL	OL	MH	CH	OH
الكثافة الجافة النظامية	1.52-1.92	1.52-1.92	1.28-1.60	1.13-1.53	1.38-1.68	1.04-1.60
قابلية الترب للانضغاط والانتفاخ	وسط	وسط	وسط إلى عالية	عالية	عالية جداً	عالية
صلاحيتها للردم	ضعيفة	جيدة	غير قابلة للاستعمال	غير قابلة للاستعمال	ضعيفة	غير قابلة للاستعمال
صلاحيتها كأرض طبيعية تحت الردم أو أسفل الحفر	مقبولة إلى ضعيفة	مقبولة إلى ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة جداً	ضعيفة جداً
صلاحيتها كطبقة للطرق والمطارات	مرفوضة	مرفوضة	مرفوضة	مرفوضة	مرفوضة	مرفوضة
قابليتها للرص وآليات الرص المناسبة لها	مقبولة	مقبولة	ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة	ضعيفة
	مداحي مطاطية أو أرجل غنم	مداحي مطاطية أو أرجل غنم	مداحي مطاطية أو أرجل غنم	مداحي مطاطية أو أرجل غنم	مداحي أرجل غنم	مداحي أرجل غنم

الجدول 4-9: تصنيف التربة باستعمال تصنيف آشو

تصنيف التربة حسب آشو	الكثافة الجافة	الرطوبة المثاليّة	صلاحية التربة للردميّات	الوصف النظري للتربة
A-1-a	2.27-1.84	15-7	جيدة إلى ممتازة	تربة حبيبية خشنة
A-1-b	2.27-1.84	15-7	جيدة إلى ممتازة	تربة حبيبية خشنة
A-2-4	2.16-1.76	18-9	مقبولة إلى ممتازة	تربة حبيبية
A-2-5	2.16-1.76	18-9	مقبولة إلى ممتازة	تربة حبيبية
A-2-6	2.16-1.76	18-9	مقبولة	تربة حبيبية
A-2-7	2.16-1.76	18-9	مقبولة	تربة حبيبية
A-3	1.84-1.76	15-9	مقبول	رمل ناعم
A-4	3.08-1.52	10-2	ضعيفة	سيلتي أو سيلت
A-5	1.6-1.26	35-20	غير مناسبة	سيليت لدن وغضار
A-6	1.92-1.52	20-10	ضعيفة	غضار سيلتي
A-7-5	1.2-1.26	35-20	غير مناسبة	غضار لدن
A-7-6	1.84-1.44	30-15	ضعيفة	غضار

الجدول 4-10: تصنيف التربة الموحّد (USCS)

<table>
<tr><th colspan="3">معايير تصنيف التربة</th><th>رمز المجموعة</th></tr>
<tr><td>عامل الانتظام</td><td>$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$</td><td>تصنيف التربة على أساس نسبة النواعم</td><td rowspan="2">GW</td></tr>
<tr><td>عامل الانحناء</td><td>$Cz = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ بين(1) و(3)</td><td rowspan="9">SP, GW, GP, SW نسبة النواعم فيها التي تمر من منخل (200) أقل من (5)%
SC, GM, GC, SM نسبة النواعم فيها التي تمر من منخل (200) أكبر من (12)%
أما عندما تكون النواعم المارة من المنخل (200) محصورة بين (5)% و (12)% فإنها تكون على الحدود وتحتاج لرموز مزدوجة.</td></tr>
<tr><td colspan="2">لا ينطبق مع معايير الصنف (GW) السابقة</td><td>GP</td></tr>
<tr><td></td><td>حدود أتربرغ (السيولة واللدونة) تقع تحت الخط (A) أو أن دليل اللدانة أقل من (4)</td><td>GM</td></tr>
<tr><td></td><td>حدود أتربرغ (السيولة واللدونة) تقع فوق الخط (A) أو أن دليل اللدانة أقل من (7)</td><td>GC</td></tr>
<tr><td>عامل الانتظام</td><td>$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$</td><td rowspan="2">SW</td></tr>
<tr><td>عامل الانحناء</td><td>$Cz = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ بين(1) و(3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">لا ينطبق مع معايير الصنف (SW) السابقة</td><td>SP</td></tr>
<tr><td rowspan="2">في حدود أتربرغ الواقعة في المنطقة المظلّلة هي حدود تصنيف وتستعمل أجلها رموز مزدوجة مثل (CL-ML)</td><td>حدود أتربرغ (السيولة واللدونة) تقع تحت الخط (A) أو أن دليل اللدانة أقل من (4)</td><td>SM</td></tr>
<tr><td>حدود أتربرغ (السيولة واللدونة) تقع فوق الخط (A) أو أنّ دليل اللدانة أقل من (7)</td><td>SC</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="6"></td><td>ML</td></tr>
<tr><td>CL</td></tr>
<tr><td>DL</td></tr>
<tr><td>MH</td></tr>
<tr><td>CH</td></tr>
<tr><td>OH</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>PT</td></tr>
</table>

4.4 تقنية رص التربة

ترص التربة بواسطة معدات هندسية ذاتية الحركة أو مقطورة تقوم بأعمال الرص والدحي وتهيئة السطوح النهائية لمختلف مراحل أعمال إنشاء الردميات.

1.4.4 مقدمـــة

يجب رص التربة حتماً بعد الانتهاء من تنفيذ أعمال الردم وترصّ أيضاً السطوح التـــي ستستخدم كقاعدة لإقامة أساسات المنشآت.

والهدف الأساسي من الرص زيادة كثافة التربة (الإقلال من الفراغات الموجودة فيه)، ممّا يؤدي تخفيف قابلية التربة للانضغاط بعد تطبيق الحمولات على التربة، ويؤدي إلى الإقلال من التشوهات والهبوطات وإلى زيادة استقرار التربة تحت الحمولات المطبقة وزيادة قدرة تحمّلها.

2.4.4 تصنيف أنواع الرص

1. حسب نوع نقل القدرة:

آ- رص ستاتيكي.

ب- رص ديناميكي.

آ- الرص الستاتيكي:

يعتمد مبدأ تأثير الرص الستاتيكي على مبدأ الضغط الساكن (مداحي مطاطية ملساء – مداحي ذات اسطوانات ملساء).

أو على مبدأ العجن مع الضغط (أهم أنواعها المداحي الأسطوانية ذات حوافر الغنم).

أو على مبدأ الصدم (أهم أنواعها المداحي ذات الأرجل الدقاقة).

- المداحي الستاتيكية:

هي مداحي ذاتيّة الحركة ولها عدة أنواع:

1- مداحي بطنبور معدنـــي عدد اثنان.

2- مداحي بطنبور معدنـــي أمامي واحد ودواليب معدنية في الخلف (عدد اثنان).

3- مداحي بطنبور معدنـــي أمامي واحد ودواليب مطاطية ملساء.

4- مداحي مطاطية أمام وخلف وفيها عدد من الدواليب المطاطيّة الملساء.

- المداحي المطاطية:

هي ما يغلب استخدامها في عمليات إنهاء السطوح المختلفة لطبقات الاهتراء الإسفلتي النهائية، حيث تعطي سطحاً نهائياً أملساً جيد التماسك. ويعتمد الدحي فيها على وزن المدحاة الأساسي مع الأوزان الإضافية التي يمكن أن تضاف عليها ولا يستعمل الرج فيها، وتنحصر أنواع المداحي الستاتيكيّة بما يتفق مع حجم العمل المطلوب وفقاً لما يلي:

المداحي الستاتيكية المعدنية للأعمال الخفيفة:

تكون أوزانها بحدود 8 طن، ووزن إجمالي مع الإضافات بحدود 11 طن، وباستطاعة محرّك بحدود 50 كيلووات وبعرض دحي بحدود 1100 مم.

المداحي الستاتيكية المعدنية للأعمال المتوسطة:

تكون أوزانها بحدود 12 طن، ووزن إجمالي مع الإضافات بحدود 15 طن، وباستطاعة محرّك بحدود 50 كيلووات وبعرض دحي بحدود 1100 مم.

المداحي المطاطيّة الستاتيكية للأعمال الخفيفة:

تكون أوزانها بحدود 8 طن، ووزن إجمالي مع الإضافات بحدود 19 طن، وباستطاعة محرّك بحدود 70 كيلووات وبعرض دحي بحدود 1800 مم.

المداحي المطاطيّة الستاتيكية للأعمال المتوسطة:

تكون أوزانها بحدود 12 طن، ووزن إجمالي مع الإضافات بحدود 24 طن، وباستطاعة محرّك بحدود 80 كيلووات وبعرض دحي بحدود 1800 مم.

المداحي المطاطيّة الستاتيكية للأعمال الكبيرة:

تكون أوزانها بحدود 15 طن، ووزن إجمالي مع الإضافات بحدود 28 طن، وباستطاعة محرك بحدود 85 كيلووات وبعرض دحي بحدود 1800 مم.

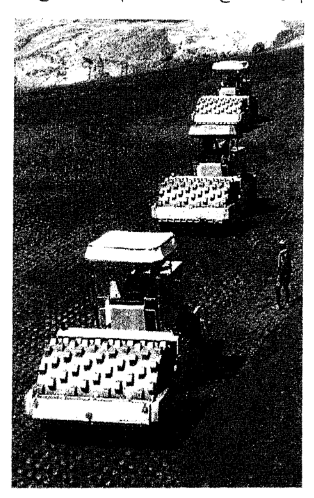
المداحي الرجّاجة أرجل الغنم للتربة (مطاط + معدن):

هي معدّات هندسيّة ذاتيّة الحركة تقوم بأعمال الرص، وتستخدم في مراحل تهيئة طبقة ما تحت الأساس، وفي رص التربة الغضارية، والتربة الناعمة، وفي التربة التي تحتاج إلى قوى رج عالية، وتكون مزوّدة بطنبور أرجل غنم يتضمن عدد من المداسات بحدود (75) إلى (150) رأس مداس كما في (الشكل 4-72) وتصنّف وفقاً لما يلي:

1- مداحي رص التربة أرجل غنم وباستطاعة محرك بحدود 50 كيلوواط، وبوزن تشغيل ما بين (7-5) طن، وقوة رج إجمالية بحدود 125 كيلونيوتن، وعرض دحي ما بين (1675-1370) مم، ومطال الرج (0.5 -1.7) مم، واهتزاز الرج (42-30) هرتز.

2- مداحي رص التربة أرجل غنم وباستطاعة محرك بحدود 95 كيلوواط، وبوزن تشغيل ما بين (14-11) طن، وقوة رج إجمالية بحدود 350 كيلونيوتن، وعرض دحي بحدود 2140 مم، ومطال الرج (1.9-0.9) مم، واهتزاز الرج (40-30) هرتز.

3- مداحي رص التربة أرجل غنم وباستطاعة محرك بحدود 140 كيلوواط، وبوزن تشغيل ما بين (20-15) طن، وقوة رج إجمالية ما بين (500-400) كيلونيوتن، وعرض دحي ما بين (2220-2130) مم، ومطال الرج (1.95-1.15) مم، واهتزاز الرج (30-27) هرتز.



الشكل 4-72: المداحل الرجاجة أرجل الغنم للتربة (مطاط + معدن)

ب - الرص الديناميكي:

يمكن أن تزوّد آليات الدحي بأجهزة خاصة تقوم بهز أو رج الأسطوانات، ويمكن استخدام معدات ذات صفائح مهتزة أي أن جهاز الرص هو عبارة عن صفيحة تقوم بالاهتزاز.

وتقسّم آليات الرص الديناميكي:

آ- آليات الرص الارتجاجيّة.

ب- آليات الرص بالطرق: وتقسم إلى:

1. المطارق الهاوية.
2. المطارق الانفجارية المرتدة.
3. المطارق الكهربائية.

- حسب مكان نقل القدرة:

آ- رص التربة السطحي.

ب- رص التربة في العمق.

آ- رص التربة السطحي:

يتم على طبقات متساوية الارتفاع قدر الإمكان، ويتعلق ارتفاع طبقة الرص:

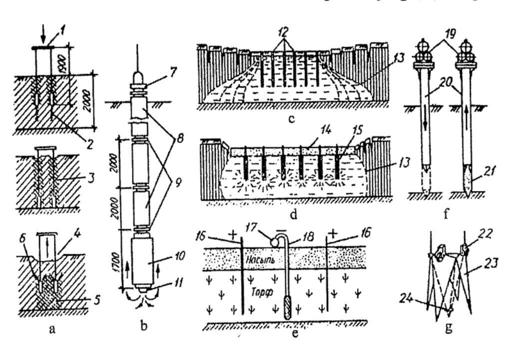
1. بنوعية التربة.
2. رطوبة التربة.
3. نوعية آلية الرص المستخدمة.
4. ظروف موقع العمل.

- حسب نوع التربة يمكن استخدام مداحي مزودّة بأسطوانات فولاذية ملساء أو مداحي مزودة بأسطوانات ذات نتوءات (حوافر الغنم) أو نستخدم مداحي مزودة بدواليب مطاطيّة قابلة للنفخ.

يمكن استخدام الرص الاهتزازي (الارتجاجي) من أجل رص التربة السطحي، وذلك بكون عضو الرص يتوضّع على سطح التربة.

ب- رص التربة في العمق:

يتم باستخدام طرق الرص الاهتزازية حيث يكون عضو الرص واقع داخل التربة، ويبين (الشكل 4-73) رص التربة بالعمق.



a- جهاز الاهتزاز الهيدروليكي المستخدم لعمق 2 متر،

b- جهاز الاهتزاز الهيدروليكي المستخدم لعمق 10 متر،

c- رص التربة بوساطة ضخ الماء في الآبار،

d- رص التربة بوساطة التفجير،

e- رص التربة بوساطة ضخ الماء ومساعدة التيار الكهربائي المستمر،

f- رص التربة بوساطة الأوتاد الرملية،

g- شكل الوتد القابل للانفتاح

الشكل 4-73: رص التربة بالعمق

3.4.4 عوامل اختيار آليات الرص

يتعلق اختيار تكنولوجيا الرص الصحيحة، واختيار آلية الرص المناسبة بعدة عوامل أهمها:

1. نوع وخصائص التربة المراد رصها.

2. ارتفاع الردم.

3. الشروط المطلوبة لتنفيذ اعمال الرص.

4. حجم الأعمال.

5. التنسيق بين الأعمال الجزئية المختلفة، مثل: حفر ونقل وردم التربة.

6. توافر الآليّات والمعدات في الورشة.

7. من حيث الإنتاجية.

8. من حيث العدد.

9. طبيعة الأعمال الترابية.

10. الشروط الجيولوجية والهيدرولوجية للموقع.

11. الزمن المتوقع لإنجاز العمل.

12. الشروط الجوية المحيطة.

– درجة رص التربة الحقلية وتحسب من العلاقة (4-29):

$$Is = \frac{\gamma_{de}}{\gamma_{ds}} \qquad (29\text{-}4)$$

حيث:

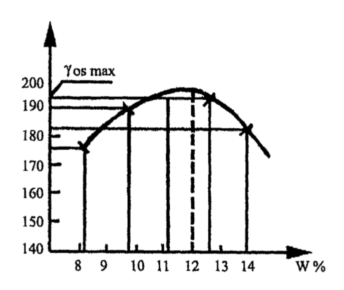
Is: درجة الرص الحقلية.

γ_{ed}: الوزن الحجمي الجاف للتربة المرصوصة (t / m^3)

γ_{ds}: الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للتربة (t / m^3)

تتراوح قيمة Is حسب أهمية المنشأة من: $0.95 \rightarrow 0.85$.

يتم تحديد γ_{ds} (الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للتربة) من تجربة بروكتور المخبرية، حيث نعتبر أن التربة مرصوصة رصاً أعظمياً إذا تمَّ الحصول على أعلى وزن حجمي جاف لها وتكون نسبة الرطوبة التـــي تعطينا أكبر وزن حجمي جاف هي الرطوبة المثالية ويوضح (الشكل 4-74) العلاقة بين الوزن الحجمي للتربة ونسبة الرطوبة.



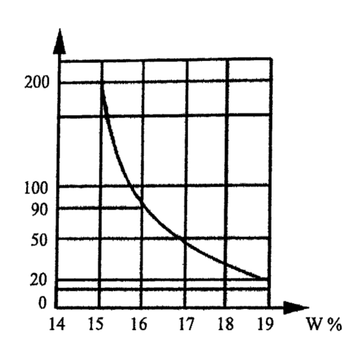
الشكل 4-74: العلاقة بين الوزن الحجمي للتربة ونسبة الرطوبة

وكما يوضح (الجدول 4-11) الرطوبة المثلى لأنواع الأتربة.

الجدول 4-11: الرطوبة المثلى لأنواع الأتربة

نوع التربة	الرطوبة المثلى %	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي
تربة رملية متجانسة الحبيبات	12-8	1.70-1.55
تربة رملية غير متجانسة الحبيبات	12-8	1.90-1.70
تربة رملية غضارية	14-9	1.95-1.70
تربة طينية (طمي)	22-16	1.80-1.60
تربة غضارية	16-12	1.85-160

وكلمّا كانت نسبة الرطوبة قليلة فإنّ التربة تبدي مقاومات كبيرة ضدّ الرص مما يؤدي إلى صرف طاقة أكبر وبالتالي زيادة في كمية العمل الميكانيكي الذي تقوم به الآلية لتنفيذ عملية الرص. لذلك يعمد إلى ترطيب الترب الجافة خلال عملية رصها ويبين (الشكل 4-75) العلاقة بين نسبة رطوبة التربة وكمية العمل الميكانيكي المطلوب للرص.



الشكل 4-75: العلاقة بين نسبة رطوبة التربة وكمية العمل الميكانيكي المطلوب للرص

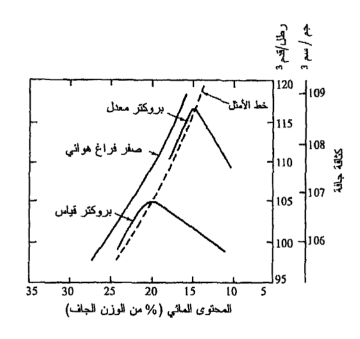
كما يبين (الجدول 4-12) و(الشكل 4-76) خصائص اختبار تجربة بروكتور للرص.

الجدول 4-12: خصائص اختبار تجربة بروكتور للرص

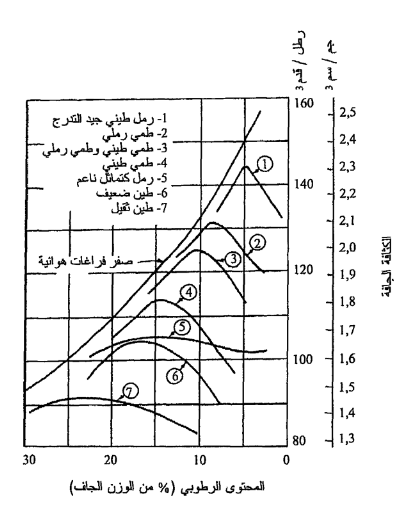
تفاصيل الاختبار	قياسي	معدّل
قطر القالب		
بوصة	4	4
ميليمتر	102	102
ارتفاع العينة		
بوصة	5 تقطع إلى 4.59	5 تقطع إلى 4.59
ميليمتر	127 تقطع إلى 117	127 تقطع إلى 117
عدد الطبقات	3	5
عدد الضربات لكل طبقة	25	25
وزن المطرقة		
رطل	5.5	10
كغم	2.5	4.5

الجدول 4-12: تابع

تفاصيل الاختبار	قياسي	معدّل
قطر المطرقة		
بوصة	2	2
ميليمتر	51	51
ارتفاع سقوط المطرقة		
بوصة	12	18
ميليمتر	305	457
حجم العينة		
قدم مكعب	30/1	30/1
لتر	0.94	0.94
جهد الرص		
قدم - رطل/قدم مكعب	12400	56200
كيلوجول/متر مكعب	592	2693



الشكل 4-76: مخطط تحديد بروكتور المعدل (الكثافة الجافة العظمى) ومحتوى الرطوبة النسبيه بالنسبة للكثافة الجافة المقاسة



تابع الشكل 4-76: خصائص اختبار تجربة بروكتور للرص لأنواع مختلفة من التربة

4.4.4 أنواع آليات الرص

تقسم إلى قسمين:

1. مداحي ذات اسطوانات فولاذية:

ونميز الأنواع التالية:

آ- ذات اسطوانات فولاذية ملساء.

ب- اسطوانية فولاذية ذات نتوءات.

2. مداحي مطاطية

أولاً: المداحي ذات الأسطوانات الفولاذية:

آ- المداحي ذات الأسطوانات الفولاذية الملساء:

تستخدم هذه المداحي في أعمال رص التربة بمختلف أنواعها، وطبقات ما تحت الأساس والأساس، وتكون مزوّدة بأسطوانة معدنية مفردة ملساء أمامية ودولابين مطاطيين خلفيّين، كما في (الشكل 4-77)، وتنحصر أنواعها بما يتفق مع العمل المطلوب وفقاً لما يلي:

1- مداحي رص التربة باستطاعة محرّك بحدود 50 كيلووات، وبوزن تشغيل ما بين (4-6) طن، وحمل خطي ستاتيكي ما بين (10-20) كغ/سم^2، وعرض دحي ما بين (1300-1650) مم، ومطال الرج (0.8-1.6) مم، واهتزاز الرج (29-40) هرتز.

2- مداحي رص التربة باستطاعة محرّك بحدود 90 كيلووات، وبوزن تشغيل ما بين (10-12) طن، وحمل خطي ستاتيكي ما بين (24-32) كغ/سم^2، وعرض دحي بحدود 2100 مم، ومطال الرج (0.8-1.7) مم، واهتزاز الرج (30-33) هرتز.

3- مداحي رص التربة باستطاعة محرّك بحدود 130 كيلووات، وبوزن تشغيل ما بين (15-20) طن، وحمل خطي ستاتيكي ما بين (49-59) كغ/سم^2، وعرض دحي بحدود 2100 مم، ومطال الرج (1-1.8) مم، واهتزاز الرج (49-31) هرتز.

4- مقطورة دحي رجّاجة للتربة:

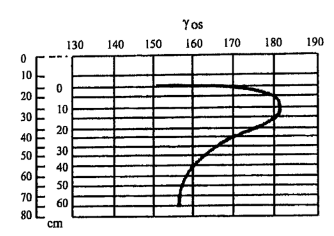
هي مقطورة بشكل طنبور قابل للقطر بواسطة آليّة متحركة أخرى، وتقوم بأعمال رص التربة، وبوزن تشغيل بحدود 6 طن، ومحرك استطاعته بحدود 20 كيلووات، وعرض دحي بحدود 1600 مم، ومطال الرج 1.5 مم، واهتزاز الرج بحدود 28 هرتز.



الشكل 4-77: المداحي الرجاجة للتربة (دواليب مطاطية ومعدنية)

مبدأ العمل:

يتم الرص عند استخدام هذه الآليات عن طريق الضغط المتولّد من وزن الآلية ووزن الأسطوانات المنقول على سطح التربة المراد رصّها (الشكل 4-78) ويحسب هذا الضغط من العلاقة (4-30).



الشكل 4-78: الوزن الحجمي للتربة المرصوصة بدلالة العمق

$$P = \frac{G}{b \cdot \sqrt{D \cdot h}} \qquad (30\text{-}4)$$

حيث:

P: الضغط المؤثّر في السطح (kg/cm^2).

G: الثقل المطبق على محور الأسطوانة (kg).

b: عرض الأسطوانة (cm).

h: مقدار غرس الأسطوانة في السطح المعالج (cm).

D: قطر الأسطوانة (cm).

مجال الاستخدام:

1. رص الترب المتماسكة بسماكة تصل إلى 15 cm.
2. رص الترب الرمليّة البحصية بسماكة 5 - 15 cm.
3. الطرق النفقية.
4. عندما تشكل الطبقة العلوية للردمية أرضية لتأسيس الأساسات.

5. ردم الجيوب في ظروف جبهة ضيقة للعمل.

يفضل ألاّ يقل طول الشوط عن 200 m وذلك للحصول على إنتاجية جيدة، وسرعة هذه الآلية تتراوح km / h (8 → 10).

البنيـــة:

تتألف هذه الآلية من:

آ- الهيكل.

ب- أسطوانات الرص.

ويمكن أن تكون المداحي ذات الأسطوانات الفولاذية الملساء ذاتية الحركة أو مقطورة.

كما يمكن أن تكون المداحي ثنائية أو أحادية الأسطوانة.

مساوئ هذه المداحي:

1. لا يمكن ربط الطبقات المردومة فوق بعضها باستخدام هذه المداحي لأنها تشكّل سطح أملس غير مناسب للالتصاق.
2. تشكّل هذه المداحي تعرجات على السطح لأنّها تولد قوى أفقية عليه، ولتجنّب هذه التعرجات فقد صممّت المداحي الحديثة بحيث يكون الضغط على الاسطوانة الخلفية أكبر من الضغط على الأسطوانة الأمامية فتقوم الأسطوانة الخلفية بعملية الرص الأساسية أما الأمامية فتقوم بعملية الرص الأولية.

الإنتاجية:

الإنتاجية الفنية:

وتحسب من العلاقة (4-31).

$$Q_t = \frac{1000(b - 0.2b)}{m} \cdot v \cdot \eta \qquad (31\text{-}4)$$

حيث:

Q_t: إنتاجية الآلية الفنية (m^2 / h) (سطح مرصوص).

b: عرض الأسطوانة (m).

0.2: ثابت يتعلق بتداخل أشواط الرص.

v: السرعة الوسطية (km / h) وهي تساوي من العلاقة (4-32):

$$v = \frac{L}{t_1 + t_2} \quad (32\text{-}4)$$

حيث:

L: طول الشوط (m).

t_1: الزمن اللازم لقطع الشوط (sec).

t_2: الزمن اللازم لتغيّر اتجاه الحركة (sec).

m: هو عدد الأشواط.

η: عامل استغلال الزمن، ويساوي تقريباً $\eta = 0.8$.

الإنتاجية الاستثمارية:

وتحسب من العلاقة (4-33).

$$Q_e = Q_t * k_1 * k_2 * k_3 \quad (33\text{-}4)$$

حيث:

Q_t: الإنتاجية الفنية.

k_1: معامل يأخذ بعين الاعتبار التوقفات الطويلة خلال العمل لأسباب تنظيميّة وفنية منسوبة لورديّة عمل واحدة.

k_2: معامل يأخذ بعين الاعتبار نوع التربة، وصعوبة التعامل معها.

k_3: مهارة السائق وظروف المناخ والرؤيا.

العوامل التـــي تتعلّق بها الإنتاجية الاستثمارية هي:

1. استغلال الزمن.
2. مهارة السائق.
3. الظروف الجويّة.

ب – المداحي ذات الأسطوانات فولاذية ذات نتوءات:

مبدأ العمل:

تعتمد على رص التربة بواسطة الضغط الستاتيكي المتولّد من عجن التربة نتيجة النتوءات المتوضعة على الأسطوانات، حسب العلاقة (4-34):

$$P = \frac{G}{n \cdot A} \qquad (34\text{-}4)$$

حيث:

P: الضغط على السطح (kg / cm^2).

G: الثقل الواقع على الأسطوانة (kg).

n: عدد النتوءات الموجودة على صف واحد.

A: مساحة النتوء الواحد (cm^2).

مجال الاستخدام:

1. رص التربة المتماسكة: ويتعلق بالوزن للآلية وبأبعاد النتوءات، وتتراوح سماكة الطبقة المرصوصة (25 - 40) سم.
2. لا يفضّل استخدامها في الترب الغضارية المشبعة بالرطوبة.

الميّزات الإيجابية:

1. سماكة طبقة التربة المرصوصة بواسطتها تبلغ ضعف سماكة طبقة التربة المرصوصة في حالة المداحي الملساء.
2. لا تتشكل تعرجات على السطح.
3. تحتاج لعدد أشواط أقل بالمقارنة مع الملساء.
4. تؤمن الارتباط الجيد بين الطبقات المردومة والمرصوصة بواسطتها لأنّها تترك سطح خشن.

الميزات السلبية:

إنّ سيئة هذه المداحي وحيدة وهي صعوبة تنظيفها من الأتربة العالقة بين الأرجل.

ملاحظات:

1. عمق الطبقة المرصوصة يجب ألا يتجاوز ارتفاع القسم البارز من الأرجل.
2. طول الشوط الاقتصادي لا يقلّ عن 200 m وسرعة المدحية (8 - 10) كم/سا.
3. يمكن أن تكون هذه المداحي ذاتية الحركة أو مقطورة أو مدفوعة.

الإنتاجية:

يتم حساب الإنتاجية بنفس طريقة حساب الإنتاجية للمداحي الأسطوانية ذات الأسطوانات الفولاذية الملساء.

ح – المدحية الأسطوانية ذات الأرجل الدقاقّة:

- تنطبق عليها مواصفات المدحية الأسطوانية ذات النتوءات ولكن مقطع الأرجل الناتئة عبارة عن جذع هرم مما يسهّل خروجه من الأتربة.
- ويمكن أن تكون ذاتية الحركة أو مقطورة.
- تستخدم بشكل خاص في الترب الغضارية أو السيلتية، ولا تستعمل مطلقاً لرص الترب الرملية.

ثانياً: المداحي المطاطية:

مبدأ العمل:

تطبيق ضغط على الأتربة ذو تأثير طويل عن طريق الدواليب المطاطيّة، وتتراوح سرعتها (4 - 20) كم/سا.

مجال الاستخدام:

1. يمكن استخدامها في رص أنواع كثيرة من الترب وعلى أعماق كبيرة.
2. تستخدم هذه المداحي في مهابط الطائرات وردميات السدود.
3. تعطي هذه المداحي أفضل النتائج من أجل الترب الرطبة.
4. تتراوح سماكة الطبقة المرصوصة فيها (15 - 60) سم حسب وزن الآليّة.

البنيـــة:

هي عبارة عن هيكل يحمل صندوق حديدي والهيكل يرتكز على محاور، وهذه المحاور تحملها دواليب مطاطيّة قابلة للنفخ تتألف هذه الدواليب من مجموعتين:

- أماميّة من 4 إلى 9 دواليب.
- خلفيّة عددها أقل من الدواليب الأمامية بـــ 1.

ويتم ترتيب المسافات بحيث تمر الدواليب الخلفية على المسافة التـــي لم تمر عليها الدواليب الأمامية.

ميّزات هذه المداحي:

تتميّز هذه المداحي عن غيرها من المداحي بأنّه يمكن التحكّم في قيمة الضغط المتولّد منها

على السطح المراد رصّه عن طريق:

آ- دواليبها المطاطيّة القابلة للنفخ.

ب- الصندوق المحمول على الهيكل والذي يمكن ملؤه بالماء أو الرمل لزيادة الوزن الذاتـــي.

التصنيـــف:

يمكن أن تكون هذه المداحي ذات محورين مترادفين أو ذات محور وحيد، وهذه المداحي إما:

- خفيفة: وزنها 30 طن.
- ثقيلة: وزنها 100 طن.

كما يمكن تصنيفها حسب نوعيّة الجر إلى:

آ- متحركة ذاتياً.

ب- مقطورة.

الإنتاجية:

يتم حساب الإنتاجي كما في الأسطوانات الفولاذية.

ثالثاً: آليات الرص الديناميكية:

آ- آليات الرص الارتجاجية.

ب- آليات الرص بالطرق.

آ - آليات الرص الارتجاجية:

المداحي الرجّاجة (معدن + معدن):

تستخدم في رج مختلف طبقات المجبول الإسفلتـــي، وتكون مزودة بأسطوانة أمامية رجاجة ملساء، وأسطوانة خلفية رجاجة ملساء.

وتنحصر أنواعها بما يتفق مع حجم العمل المطلوب وفقاً لما يلي:

- المداحي (معدن + معدن) ملساء رجّاجة لحجوم عمل بسيطة:

استطاعة محركها بحدود 18 كيلو وات، وبوزن تشغيل بحدود 3.5 طن، وعرض دحل بحدود 1200 مم، وبمطال رج بحدود 0.45 مم، واهتزاز رج (50-60) هرتز، وقوة طاردة

مركزية 30 كيلونيوتن على الطنبور.

- مداحي (معدن + معدن) ملساء رجّاجة لحجوم عمل متوسطة:

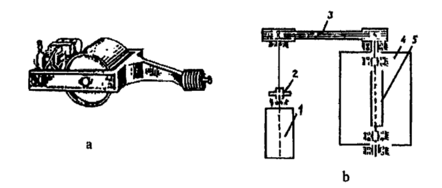
استطاعة محركها بحدود 50 كيلو وات، وبوزن تشغيل بحدود 7 طن، وعرض دحل بحدود 1500 مم، وبمطال رج بحدود (0.50-0.25) مم، واهتزاز رج (60-50) هرتز، وقوة طاردة مركزية 50 كيلونيوتن على الطنبور.

- مداحي (معدن + معدن) ملساء رجّاجة لحجوم عمل متوسطة:

استطاعة محركها بحدود 75 كيلو وات، وبوزن تشغيل بحدود 7 طن، وعرض دحل بحدود 1650 مم، وبمطال رج بحدود (0.90-0.35) مم، واهتزاز رج (60-30) هرتز، وقوة طاردة مركزية 140 كيلونيوتن على الطنبور.

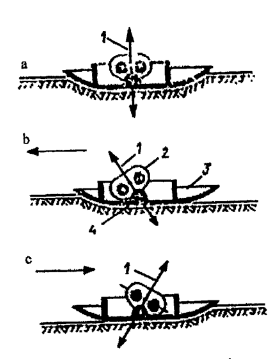
*** مبدأ العمل:**

- يعتمد على تطبيق تردد جيبـــي ميكانيكي من عضو الرص في الآلية (أسطوانة – دولاب – صفيحة)، والذي يؤدي إلى تحرك ذرات التربة للأسفل، مما يقلّل الفراغات فيما بينها نتيجة توضع الحبيبات الصغيرة بين الحبيبات الكبيرة مما يؤدي إلى زيادة الوزن الحجمي للتربة، (الأشكال 4-79 ,4-80 ,4-81) توضح أنواع آليات الرص.



1- محرك، 2- نابض، 3- شريط ناقل، 4- مدحية، 5- عضو تردد

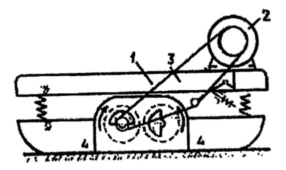
الشكل 4-79: مدحية اهتزازية



a- عند الرص في المكان، b- عند الحركة للأمام، c- عند الحركة للخلف

1- قوة تهيّج، 2- رجاج، 3- صفيحة، 4- موجة

الشكل 4-80: صفيحة رص اهتزازي تتحرك بشكل ذاتـــي



1- شريط ناقل، 2- محرك، 3- صفيحة صادمة، 4- عضو تردد

الشكل 4-81: صفيحة رص بالاهتزاز مع الصدم

إن جميع المداحي يمكن أن تكون اهتزازية رجّاجة مثل:

المداحي الاسطوانية – المداحي ذات أرجل الغنم – المداحي المطاطية الملساء – المداحي ذات الأرجل الدقاقة.

إنّ مردود واقتصادية عملية الرص في المداحي الاهتزازية يتعلّق بالعوامل التالية:

1. الوزن الستاتيكي للآلية.
2. تردد الاهتزاز وسعته.
3. عدد الأسطوانات المرتجة.
4. سرعة المدحية.

1. الوزن الستاتيكي للآلية:

إن عمق الطبقة المرصوصة يتناسب مع وزن المدحاة، حيث وجد أنه بازدياد وزن المدحاة (مع تثبيت بقية العوامل)، فإنّ الضغط (الستاتيكي والديناميكي) يزداد على التربة، وذلك بنسبة معينة.

2. تردد الاهتزاز وسعته:

* **سعة (مطال) الاهتزاز:** هو ارتفاع وانخفاض الأسطوانة عن الأرض. وقد وجد أنه كلما زادت سعة (مطال) الاهتزاز كلّما زادت إمكانيّة الرص وإن أفضل قيمة لسعة الاهتزاز من أجل دحي الإسفلت تتراوح (0.4 - 0.8)مم وأما من أجل دحي باقي الأتربة تتراوح قيمته (2-1)مم.

* **تردّد الاهتزاز:** هو عدد الهزّات في الدقيقة. وإنّ فعالية المداحي تنخفض بشكل سريع إذا قلّ التردد عن 1500 دورة/ دقيقة، ووجد على أنّ أفضل تردّد من أجل ترب الردم يتراوح بين (1500-3000) دورة/ دقيقة (25 - 50 هرتز حيث إنّ الهرتز هو دورة/ ثانية)، أمّا من أجل دحي الإسفلت يتراوح التردد (1980-3000) دورة/ دقيقة (33 هرتز).

3. عدد الأسطوانات المرتجة:

إن فعالية المداحي ذات الاسطوانتين المرتجتين أكبر بنسبة (80% على التربة و 50% على الإسفلت) منها في المداحي ذات الاسطوانة الارتجاجية الواحدة، وذلك لأنه في المداحي ذات الأسطوانة الارتجاجية الواحدة ونتيجة دوران محور الأسطوانة سوف تنشأ قوى نابذة في جميع الاتجاهات ولكنّنا في عملية الرص لا نحتاج إلاّ إلى قوى شاقولية، فتكون القوى الأفقية والمائلة غير مجديّة ومضرة.

ومن أجل إلغاء مفعول القوى النابذة الأفقية والمائلة وإبقاء القوى الشاقولية فقط نستخدم

المداحي ذات أسطوانتين المرتجتين، حيث تكون القوى في كل محور أسطوانة تعاكس القوى في المحور الآخر.

4. سرعة المداحي:

إنّ سرعة سير المداحي تتناسب عكساً مع قوة الرص فكلّما كانت سرعة المداحي كبيرة كلّما قلت قيمة الرص والعكس صحيح، وإن سرعة المدحية تتراوح 3-6 كم/ سا، ويجب عدم إنقاص سرعة المداحي عن السرعة المذكورة سابقاً لأنّ ذلك سينقص مردودها بشكل كبير، وقد تتراوح قيمة السرعة (3-4) كم/ سا في الحالات التالية:

1. عندما تكون سماكات طبقة الردم كبيرة.
2. عندما يطلب الحصول على كثافة جافة وكبيرة.
3. عندما يكون الرص صعباً وخاصة في الترب الصخرية.

ملاحظة:

تستخدم المداحي الارتجاجية بشكل خاص في الترب الرملية لأنّ الرمل لا يتقبل عملية العجن وإنّما يتمّ رصّه بواسطة الاهتزاز.

تتراوح السماكة من أجل الترب الرملية (0.4 - 0.5)م، أمّا من أجل الترب الرملية المشبعة بالماء، فيمكن أن تصل السماكة إلى 1.5م وذلك باستخدام رجاجات عميقة.

الإنتاجية:

هي حجم التربة التـــي تقوم الآلة برصها في ساعة واحدة وتقدّر بـــ م^3/ سا، وتحسب من العلاقة (4-35).

$$Q = \frac{1000c \cdot b \cdot v \cdot H}{m} \qquad (35\text{-}4)$$

حيث:

c: عامل الجودة متعلقة بشروط الورشة، ومهارة السائق (0.75 -0.95).

b: عرض دولاب آلة الرص.

v: سرعة آلة الرص (km/h).

H: سماكة الطبقة المرصوصة (m).

m: عدد أشواط المدحية.

ب - آليات الرص بالطرق:

* مبدأ الطرق:

الطرق هو إسقاط كتلة معيّنة من ارتفاع معين بسرعة كبيرة على التربة المراد رصّها ونتيجة اصطدام هذه الكتلة بالتربة تتحرك ذرات التربة تحت السطح الطارق والذرات الموجودة قربه من موقعها مما يؤدي إلى الارتصاص، وتولد هذه الطريقة طاقة كبيرة، وإنّ الثقل المستخدم فيها أصغر بكثير من الثقل المستخدم في حالة الرص الستاتيكي، وهناك ثلاثة أنواع من آليات الرص بالطرق:

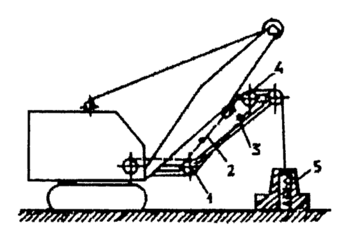
1- المطارق الهاوية.

2- المطارق المرتدّة الانفجارية.

3- المطارق الكهربائية.

1- المطارق الهاوية:

هي عبارة عن بلاطة بيتونية أبعادها (60 × 60) سم أو (120 × 120) سم، ويتراوح وزنها بين (1.5-3) طن وارتفاع السقوط (1.5-2) م وترفع هذه البلاطات بواسطة الجرافة الآلية متعدّدة الاستخدام، ويمكن إسقاط هذه البلاطات عدّة مرات، بحيث يبلغ عدد الطرقات (15-25) طرقة/ دقيقة. (الشكل 4-82) يبين المطرقة الهاوية.



الشكل 4-82: مطرقة هاوية مركبة على جرار حفارة متعددة الاستخدام

الإنتاجية:

وتحسب من العلاقة (4-36).

$$A = \frac{60 \cdot n \cdot (a-c)^2}{m} \cdot \eta \qquad (36\text{-}4)$$

حيث:

A: الإنتاجية مقدرة بـ (m^2/h) (سطح مرصوص بالساعة).

n: عدد الطرقات في الدقيقة.

a: طول ضلع السطح الطارق (m).

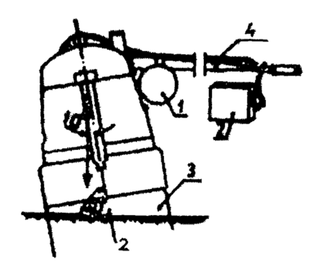
c: عامل تصحيحي لتداخل السطح المطروق، وتتراوح قيمته (0.1 -0.2).

m: عدد الأشواط.

η: عامل استغلال الزمن.

2- المطارق المرتدة الانفجارية:

تتكون القوة المتولّدة من احتراق مزيج الوقود والهواء في حجرة الاحتراق داخل محرك المطرقة بتحريك السطح الطارق بواسطة ذراع يتصل مع مكبس المحرك، كما في (الشكل 4-83).



1- خزان الوقود، 2- بطارية، 3- السطح الطارق، 4- ذراع التوجيه

الشكل 4-83: مطرقة انفجارية

وبنتيجة الحركة فإن المطرقة تقفز إلى الأعلى بمقدار (25 - 50) سم، وتسقط سقوط حر على السطح المرصوص، وتتكرر الحركة بشكل دوري بتردد (50) طرقة/ دقيقة، وتصنف المطارق المرتدة الانفجارية حسب وزنها إلى ثلاثة أنواع حسب (الجدول 4-13):

1. مطارق خفيفة.
2. مطارق متوسطة.
3. مطارق ثقيلة.

الجدول 4-13: تصنيف حركة المطرقة حسب وزنها

	الخفيفة	المتوسطة	الثقيلة
الوزن	65 – 200 كغ	200 – 500 كغ	500 – 2000 كغ
سماكة الطبقة المرصوصة	10 – 25 سم	20 – 30 سم	30 – 70 سم
حالة سطح المطرقة بالنسبة للمحور	عمودي	مائل	مائل

3- المطارق الكهربائية:

يتم تحريك سطح المطرقة بواسطة ذراع متصل بمحرّك كهربائي. يتراوح وزن المطرقة (35-150) كغ وتردد الطرق يتراوح (450-600) طرقة/ دقيقة.

تستخدم بشكل خاص من أجل رصّ الترب في الأماكن التـــي لا تصل إليها المطارق الكبيرة، (الشكل 4-84).

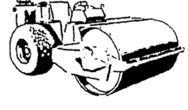
وفيما يلي يبيّن (الجدول 4-14) نوع آليات الرص المستخدمة، حسب نوع التربة وسماكة الطبقة الأعظمية القابلة للرص بهذه الآلية، والمبينة (بالشكل 4-85).

الجدول 4-14: أنواع آليات الرص حسب نوع التربة وسماكة الطبقة قبل الرص

نوع آلية الرص	أنواع التربة القابلة للرص	سماكة الطبقة قبل الرص (سم)
مداحي أرجل غنم	غضار سيلتـــي، غضار مع بحص	25-15
مداحي ساكنة ذات أسطوانتين	رمل سيلتـــي، غضار مع بحص	20-10
مداحي ساكنة ذات ثلاثة أسطوانات	نفس الترب السابقة	20-10
مداحي مطاطية ذات دواليب ضيقة	رمل سيلتـــي، غضار سيلتـــي، رمل مع مونة غضارية	20-10
مداحي مطاطية ذات دواليب عريضة	جميع أنواع الترب	20-15
مداحي اهتزازية رجّاجة	رمل، رمل سيلتـــي، بحص مع رمل	20-10



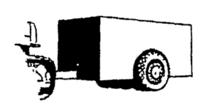
مدحاة ذات عجلات معدنية ملساء



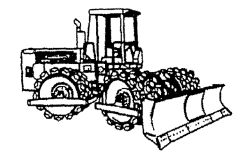
مدحاة هزّازة ذاتية الحركة



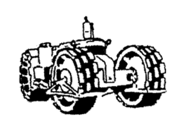
مدحاة صغيرة ذات عجلات مطاطية



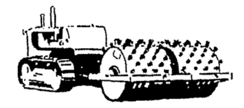
مدحاة ثقيلة ذات عجلات مطاطية



رصاصة ذات نتوءات قدمية ذاتية الحركة



مدحاة ذات عجلات معدنية من القطع المفصولة ذاتية الحركة



مدحاة ذات أرجل غنم مسحوبة



مدحاة شبكية

الشكل 4-84: أنواع آليات الرص المستخدمة

	الدحي	الطرق	الاهتزاز
مبدأ العمل			
مخطط تطبيق القوة			
مخطط الحركة الشاقولية			
مخطط عمل الآلات			
الآلات المستخدمة	- اسطوانات معدنية ملس - اسطوانات معدنية ذات نتوءات - دواليب مطاطية	- مطارق هاوية - مطارق انفجارية - مطارق كهربائية	- مطارق مهتزة - صفائح مهتزة - أسطوانات مهتزة

الشكل 4-85: الطرق الثلاث لرص التربة والآلات المستخدمة لكل منها

5.4 تقنية النقل الأفقي

1.5.4 مقدمة

هو عملية رئيسة في المشاريع حيث تقوم آليات النقل بنقل التربة من منطقة الحفر إلى منطقة الردم أو من حفر الاستعارة إلى منطقة الردم بالنسبة للأعمال الترابية وأيضاً بنقل مواد البناء المختلفة من داخل وخارج المشروع.

ويجب أن يدرس النقل، وتُختار آلياته بعناية حتـــى تؤمن أقل كلفة ممكنة، فبالنسبة للنقل الخاص بالأعمال الترابية ولأنّ التربة ليس لها ثمن ولكن أجور نقلها تجعل لها قيمةً وثمناً.

2.5.4 أنواع النقل

ونميز بين نوعين:

1. النقل الأفقي:

يتم باستخدام مختلف آليات النقل، وذلك حسب المواد المنقولة وطبيعة الأعمال وحجمها ويقسم النقل الأفقي إلى:

نقل داخلي، نقل خارجي.

آ- نقل داخلي:

حيث يتمُّ نقل المواد الأولية والمصنّعة ونصف المصنّعة ضمن حدود المشروع، مثلاً: نقل من المستودعات إلى مكان التنفيذ أو من مكان التصنيع إلى مكان التركيب.

ب- نقل خارجي:

حيث يتمُّ نقل المواد الأولية ونصف المصنعة والمصنعة من خارج المشروع إلى داخله أو من داخل المشروع إلى خارجه.

2. النقل الشاقولي:

يتمُّ استخدام مختلف أنواع الرافعات لنقل المواد من أسفل البناء إلى الأعلى، ويصنف النقل الأفقي حسب نوعية المسارات إلى:

آ- نقل على الطرقات: وهو هام في المشاريع المدنية ويستخدم بشكل واسع في القطر.

ب- النقل على السكك.

ج- النقل المائي.

3.5.4 النقل على الطرقات

تصنّف آليّات النقل إلى مجموعتين:

1. آليات غير مجهّزة بمعدّات تمكنها من القيام بعمليات التفريغ والتحميِّل.

آ- آليات مجهّزة بصندوق ثابت للشحن مثبت على آلية النقل.

ب- آليات مجهّزة بصندوق منفصل.

2. آليات مجهّزة بمعدات تمكّنها من القيام بعمليات التفريغ أو التفريغ والتحميل معاً.

آ- سيارات مجهّزة بصناديق متحركة قابلة للقلب نحو الخلف بواسطة مكابس هيدروليكية.

ب- سيارات مجهّزة بصناديق متحركة قابلة للقلب نحو الجوانب بواسطة مكابس هيدروليكية.

ج- سيارات مجهّزة برافعة ميكانيكية أو هيدروليكية، تقوم برفع المواد من الأرض لسطح السيارة أو تقوم بتتزيل المواد من سطح السيارة للأرض.

د- سيارات مجهّزة بصندوق له غطاء خلفي قابل للحركة والتنــزيل هيدروليكياً ب حيث يتم تحميل المواد عليه ورفع هذه المواد حتــى منسوب سطح السيارة.

هـ- سيارات مجهّزة بخزانات خاصة لنقل المواد الناعمة وتفريغها، مثلاً: (سيارات نقل الإسمنت).

و- سيارات مجهّزة بخزانات لنقل المواد السائلة وتفريغها (صهاريج الماء - صهاريج البتومين السائل).

ز- سيارات مجهّزة بخلاطات لنقل البيتون الطري. الهدف من الخلط هو منع تصلب البيتون المنقول.

4.5.4 أعمال نقل التربة

تعدُّ من الأعمال الترابية الرئيسة وتشمل نقل التربة الناتجة عن الحفر إلى مناطق الردم أو أماكن التجميع والترحيل، وأيضاً يمكن نقل التربة من حفر الاستعارة خارج المشروع (أماكن تواجد أنواع التربة التــي تكون صالحة للردم وقابلة للرص) إلى داخل المشروع.

وفي أعمال بناء السدود السطحيّة حيث تنقل التربة الغضارية من أماكن تواجدها إلى الأماكن المراد ردمها.

يمكن استخدام آليات النقل التالية عند استخدام أعمال النقل:

I. سيارات قلاّبة صالحة للسير على الطرق المعبّدة والممهّدة.

2. سيارات خاصة ودنابر وهذه السيارات تصلح للسير في المناطق الوعرة.
3. تركسات مزوّدة بدواليب مطاطية أو جنازير.
4. يمكن استخدام مختلف أنواع المحارف السطحيّة (بلدوزر – كاشطة)، وحسب مسافة النقل.
5. استخدام القاطرات على السكك الحديدية.
6. استخدام السيور الناقلة.
7. استخدام الأنابيب بوساطة الماء أو الهواء.

العوامل المؤثرة في اختيار آلية النقل:

1. نوع التربة المراد نقلها.
2. حجم الأعمال.
3. مسافة النقل.
4. طبيعة موقع العمل من حيث الطبوغرافية والتضاريس.
5. نوع وإنتاجية آليات الحفر والتحميل.
6. توفر الآليات في الورشة.

الشـــاحنات:

إن أكثر آليات النقل مرونة وجدوى هي سيارات الشحن وذلك نتيجة سرعتها الكبيرة ورخص أسعارها مقارنة مع الآليات الأخرى وحجمها يتراوح (5 - 20)طن، كما هو مبين في (الشكل 4-86).

ويمكن أن نستخدم شاحنات ذات حمولات كبيرة تصل إلى 210 طن ولكن أسعارها غالية جداً ولا يمكنها السير على الطرق العامة، مما يجعل إمكانياتها محدودة، ويمكن أن تصنف الشاحنات حسب تفريغ المواد إلى:

– شاحنة ذات تفريغ خلفي:

يكون السطح الداخلي لصندوق الشاحنة ذو ميول جيدة لا تبقَ المواد المنقولة بعد قلب الصندوق، وتستخدم في نقل الترب الصخرية أو الترب الطينية.

- شاحنات ذات تفريغ سفلي:

تستخدم لتفريغ ونقل المواد الجافة، وهذه الشاحنات لا تحتاج للوقوف من أجل التفريغ وإنما تقوم بالتفريغ خلال سيرها على شكل طبقات متساوية الارتفاع، وباستخدام هذه الشاحنات نوفر عمليات فرش وتسوية التربة.



الشكل 4-86: سيارات الشحن

حساب الإنتاجية:

تحسب إنتاجية سيارات الشحن من العلاقة (4-37).

$$Q_{EF} = V_F \cdot n \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \qquad (37\text{-}4)$$

حيث:

V_F: حجم صندوق السيارة النظري.

n: عدد دورات العمل بالساعة الواحدة، وتحسب من العلاقة (4-38).

η_1: عامل خلخلة التربة.

η_2: عامل امتلاء صندوق سيارة النقل.

$$n = \frac{1}{\psi \cdot \sum t_i} \quad (38\text{-}4)$$

حيث:

$\sum t_i$: مجموع الأزمنة التـــي تستغرقها في تنفيذ الأعمال الجزئية في دورة العمل الواحدة، إذا كانت $\sum t_i$ بالـــ sec وكانت n بالساعة فعندها:

$$n = \frac{3600}{\psi \cdot \sum t_i} \quad (39\text{-}4)$$

– بالنسبة للسيارات:

يتم حساب $\sum t_i$ مجموع الأزمنة التـــي تستغرقها في تنفيذ الأعمال الجزئية في دورة العمل الواحدة من العلاقة (4-40).

$$\sum t_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (40\text{-}4)$$

حيث:

t_1: الزمن اللازم من أجل التحميل (h).

t_2: زمن النقل، ويحسب من العلاقة (4-41):

$$t_2 = \frac{L}{v_2} = \frac{\text{مسافة النقل}}{\text{سرعة النقل}} \ (h) \quad (41\text{-}4)$$

حيث:

t_3: زمن التفريغ (h) .

t_4: زمن العودة، ويحسب من العلاقة (4-42):

$$t_4 = \frac{L}{v_4} = \frac{\text{مسافة العودة}}{\text{زمن العودة}} \ (h) \quad (42\text{-}4)$$

(على اعتبار أنّ مسافة النقل هي نفسها مسافة العودة).

حيث:

t_5: زمن المناورة.

- توازن حجم آليّات النقل مع إنتاجيّة الحفارات:

يتوجب على المهندس أن يستخدم الآليات بشكل اقتصادي وصحيح واستغلال الإنتاجية العظمى لهذه الآليات حتـــى لا يحدث توقف في عمل تلك الآليات وأن يراعى دوماً تشغيل كل آلية بالتنسيق مع بقية الآليات في الموقع بحيث لا تتوقف أحدها لانتظار مجيء الآلية التـــي تعمل معها (طاقم عمل متكامل).

هناك عدة عوامل تدخل من أجل تحقيق التوازن بين آليات الحفر والتعبئة وآليات النقل:

1. تأثير إنتاجية الحفارات وحجمها على كلفة الحفر والنقل.
2. تأثير إنتاجية الشاحنة وحجمها على كلفة الحفر والنقل.
3. تأثير ميل الطريق ومقاومة السير في الطريق.

وإنَّ أفضل طريقة لتحقيق التوازن هي تحديد الزمن الوسطي اللازم لكل عملية، وبالتالي الزمن الوسطي للدورة (زمن الدورة الواحدة) وإنقاص زمن الدورة قدر الإمكان وتحاشي الانتظار والتوقف.

- حساب عدد السيارات الشاحنة لنقل تربة تحفرها مجرفة معينة:

الآلية الرئيسة هنا هي آلية الحفر، واعتماداً على إنتاجية هذه الآلية نحسب عدد آليات النقل بحيث تعمل المجرفة دون انقطاع ويتحقّق ذلك إذا كان:

إنتاجية السيارات بالساعة = إنتاجية المجرفة بالساعة، والمتمثلة بالعلاقة (4-43):

$$Q_{eB} = k\, Q_{eF} \qquad (43\text{-}4)$$

حيث:

Q_{eB}: الإنتاجية الاستثمارية لآلية الحفر أو التحميل.

Q_{eF}: الإنتاجية الاستثمارية لآلية النقل.

k: العدد اللازم من السيارات ويحسب من العلاقة (4-44).

$$k = \frac{Q_{eB}}{Q_{eF}} + 1 \qquad (44\text{-}4)$$

حيث:

تم إضافة العدد واحد إلى العلاقة كاحتياطي حتـــى لا يتوقف العمل في حال تعطل

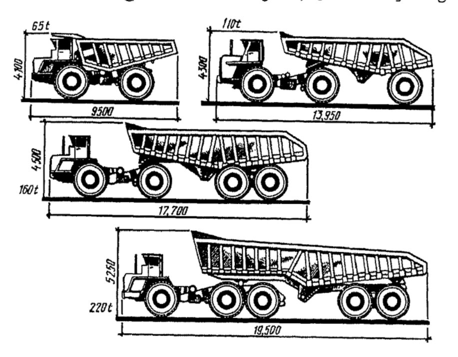
إحدى الآليات.

تزيد k بزيادة مسافة النقل، لذلك يجب أن نختار مسافة النقل من مكان الحفر إلى المكان المراد نقل التربة إليه بشكل أصغري من أجل اختصار تكاليف النقل وتكاليف الوقود.

السعة الاقتصادية لآليات النقل:

إنَّ اختيار آلية نقل كبيرة بالنسبة لآلية التحميل تسبب ضياعاً في الوقت لأنّ آلية التحميل ستحتاج إلى وقت طويل لتعبئة آلية النقل، وبالعكس فإن اختيار آليات نقل صغيرة بالنسبة لآلات التحميل يسبب هدر كبير في الوقت نتيجة الزمن اللازم للمناورة قرب آلية التحميل ويتطلب عدد كبير من آليات النقل مما يزيد في كلفة النقل.

لذلك وجد أنَّ الحل الأفضلي هو اختيار سعة صندوق آلية النقل أكبر بمقدار (7-10) مرات من سعة وعاء آلية الحفر، (الشكل 4-87) يبين بعض أنواع آليات النقل.



الشكل 4-87: اختيار سعة صندوق آلية النقل

والسعة الاقتصادية لآلية النقل تحدد بالعوامل التالية:

1. إنتاجية الآلية التـــي تقوم بالتحميل.
2. مواصفات مسار النقل.

3. المسافة بين مكان التحميل والتفريغ.

4. الشروط المحددة في مكان التحميل.

مخطط سير آليات النقل:

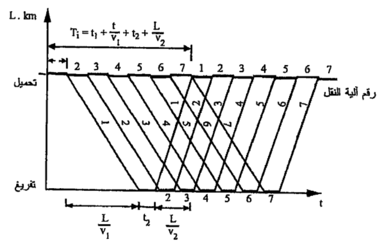
إن عمل آليات النقل يجب أن يكون منظماً بحيث يؤمن التنسيق مع الآليات الأخرى التـــي تقوم بعملية التحميل أو التفريغ. إن استمرارية عمل آليات التحميل والتفريغ تؤمن فقط عند الافتراض أنه خلال زمن نقل المواد إلى مكان التفريغ والعودة من أجل التحميل التالي، فإنه يجب أن يتم تحميل جميع الآليات المتبقية الموضوعة في العمل. أي أنه إذا كان العدد الكلي للآليات التـــي تقوم بالنقل هو (m) فإن العدد (m-1) من الآليات يجب أن يتم تحميلها خلال فترة ذهاب آلية واحدة والتفريغ والعودة، أي أنه يجب أن تتحقق العلاقة (4-45):

$$(m-1)t_1 = \frac{2L}{v} + t_2 \tag{45-4}$$

ومنه:

$$m = \frac{2L + (t_1 + t_2).v}{t_1.v} = \frac{T}{t_1} \tag{46-4}$$

إن الرقم m الذي تم الحصول عليه يجب زيادته بمقدار 10% نظراً لتوقع حصول أعطال طارئة في بعض الآليات. إن تحديد عدد الآليات يمكن أيضاً إيجاده بطريقة رسم مخطط تشغيل آليات النقل كما في (الشكل 4-88).



الشكل 4-88: مخطط تشغيل آليات نقل ذات صندوق ثابت

وتبين الجداول من (4-15) إلى (4-37) القيم المساعدة لاختيار آليات تنفيذ الأعمال الترابية مع مواصفاتها الفنية مع بعض المعاملات الهامة لحساب إنتاجية هذه الآليات.

الجدول 4-15: قيم معاملات الاستفادة من زمن العمل

شروط العمل	سكريبر مجنـــزر	سكريبر مدولب
	e	
تنظيم جيد	0.85	0.90
تنظيم وسط	0.80	0.85
تنظيم سيء	0.75	0.80

الجدول 4-16: قيم معاملات امتلاء صندوق السكريبر K_n

نوع التربة	K_n عمل بدون مساعدة (دفع بجرار)	عمل مع مساعدة (دفع بجرار)
رمل جاف مفكك	0.8 ÷ 0.6	1.0 ÷ 0.8
طين رملي	0.8 ÷ 0.7	1.1 ÷ 0.9
رمل طينـــي	1.0 ÷ 0.8	1.3 ÷ 1.0

الجدول 4-17: تأثير ميل المنطقة على إنتاجية البلدوزر

شروط العمل	الإنتاجية
العمل على مستو	100
العمل على انحدار (10%)	135
العمل على انحدار (20%)	170
على صعود (10%)	60

الجدول 4-18: أزمنة استمرار دورة العمل

نوع التجهيزات / سعة السطل	ثـــوان						
مجتزر	0.25	0.50	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
مدولب	20	20	22	25	30	-	-
دلو مسحوب	17	17	19	22	26	35	40
لاقطة	22	22	25	30	34	50	55

الجدول 4-19: معاملات امتلاء السطل (K_n) وذلك حسب ارتفاع الحفر

نوعية التربة	تصنيف التربة	نوع التجهيزات		
		مجنـــزرة مدولب	دلو مسحوب	لاقطة
رمل، بحص، بقايا مقالع	I, II V, VI	0.90 ÷ 0.80	0.77 ÷ 0.67	0.60 ÷ 0.50
رمل، بحص، رطب	I, II	0.95 ÷ 0.85	0.90 ÷ 0.80	0.70 ÷ 0.55
رمل غضاري جاف	II	0.85 ÷ 0.80	0.70 ÷ 0.65	0.67 ÷ 0.53
رمل غضاري مبلول	II	0.90 ÷ 0.85	0.75 ÷ 0.70	0.70 ÷ 0.60
طين رملي جاف	III	0.80 ÷ 0.75	0.35 ÷ 0.30	0.50 ÷ 0.41
طين رملي رطب	IV	0.85 ÷ 0.80	0.60 ÷ 0.55	0.67 ÷ 0.57
طين ناشف	IV	0.70 ÷ 0.65	0.50 ÷ 0.45	0.45 ÷ 0.40
طين رطب	IV	0.75 ÷0.70	0.60 ÷ 0.50	0.53 ÷ 0.42
ترب صخرية مكسّرة	V, VI	0.60 ÷ 0.45	0.50 ÷ 0.35	0.35 ÷ 0.25

الجدول 4-20: المواصفات الفنية لبعض المجارف (ناعورة) خلفية

مواصفات	نوع الجرفة		
	KW-253	**KW 25-25**	**3912/ 13**
سعة الوعاء (L)	25	25	45
سرعة الحركة (m/ min)	1.2	0.8	7 ÷ 2
عمق الحفر (m)	12000 ÷ 9000	6000	9000
الوزن (kg)	14530	7000	9260
الإنتاجية النظرية (m^3 / h)	42	28	25 - 40

الجدول 4-21: المواصفات الفنية للمجارف المدولبة (دواليب مطاطية)

مواصفات	نـــوع المجرفـــة		
	KWK-104	**KWK-106**	**KWK-100-50**
سعة الوعاء (ليتر)	100	100	100
محدد الأوعية (قطعة)	8	8	8
ارتفاع الحفر (mm)	6000	6500	8000
عمق الحفر (mm)	300	300	400
طول الذراع (mm)	14750	17000	17800
وسطي الضغط (Mpa)	8.5	9.2	8
سرعة الحركة (m/ min)	4.5	4.5	5
الوزن (t)	61.5	70	115
الإنتاجية النظرية (m^3 / h)	530 ÷ 354	420 ÷ 320	500 ÷ 350

الجدول 4-22: المواصفات الفنيّة للمجارف الآلية مع سكريبر

المواصفات	نـــوع المجرفـــة					
	KS-251	**KM-251**	**KM-62 A**	**KB-1212**	**KU-1207**	**D-141**
سعة سكريبـــر (m^3)	0.3	0.25	0.6	0.6 1.25	1	0.8 1.0 1.2
وزن الجرفة kg	10150	7690 8000 8260	22250 10000	28000 30000 11000	39800 40200	35000
طول ذراع الجر mm	7300	7900	13000	13000 15000	13000 16000	12000 15000

الجدول 4-22: تابـــع

زاوية انحراف الذراع (درجة)	25 40	25 40	30 45	17000 25 50	30 45	18000 45
البعد عن محور الدوران[1] mm	7550 4550 12100	8100 7000 12100	12260 10200 14500	16830 12360	15400 12900 17500	14130
نصف قطر الجرف mm	10000	10000	13400	19400	16200	18100
ارتفاع التفريغ[1] mm	1400 3050	1250 3050	4900 7500	4560 10430	5400 8700	10400
عمق الجرف[1] mm	4900 3400	5200 3400	7000 6000		8000 7100	
العمق الأعظمي للحفر mm			10200 7500		12200 9600	10600

1- مواصفات لأكبر ذراع

الجدول 4-23: المواصفات الفنية للمجارف (ناعورة) الأمامية

مواصفات	نوع الجرفـــة		
	KR-2	**ET-251**	**ET-35**
سعة الوعاء (L)	-	24	45
أكبر عمق للحفر (m)	1.2	2.5	3.5
عدد الأوعية (قطعة)	-	11	14
عرض الحفر (m)	0.4	0.8	0.8
عرض الحفر مع شفرات جانبية (m)	-	1.1	1.1
السرعة العملية للحركة (m/ min)	0.75	215 ÷ 20	9.65
الضغط على التربة (Mpa)		0.112 ÷ 0.106	0.8
الوزن (t)	2.0	11	16
قوة المحرك (KW)	21	40	40
الإنتاجية (m^3 / h)	18÷6	150	114

الجدول 4-24: المواصفات الفنية العملية للسكريـــر

نوع السكريير	بلد الصنع	سعة الوعاء	سرعة الحركة	عرض الجرف (mm)	الوزن (kg)	قوة المحرك (kw)
Zg SH-201	بولونيا	8 / 10	45	2750	18000	142
DZ-30 (D-541 A)	روسيا	3	-	190	7785	55
DZ-20 (D-458)	روسيا	7 / 9	-	2650	7000	74
DZ-12 B (D-3748)	روسيا	8 / 10	-	2677	6700	74
DZ-77 C	روسيا	8 / 10	-	2650	1000	96
D-511	روسيا	15 / 18	-	2850	16500	221
DZ-13 D (D-392)	روسيا	15 / 18	55 / 23	2850	30550	265
DZ-74	روسيا	8 / 10	-	2718	22000	158
D-523	روسيا	10 / 12	-	2642	8000	135
D-357 P	روسيا	8.1 / 11	2.9 / 5.48	2700	19600	158
D-567	روسيا	10 / 13	50	3120	22000	176
ST HS	رومانيا	7.83 / 10	10	27000	9700	110
T 180 A-S 10	تشيك	10 / 12	10.1 / 8.5	27000	43000	118 × 2

الجدول 4-25: المواصفات الفنية للمجارف اللاقطة

مواصفات	نوع المجرفة								
	KS-251	KN-251	K-408	KM-602 A	K-606	S-601	KB-1212	KU-1207	D-141
سعة الوعاء اللاقط (m^3)	0.2	. 0.2 9760	0.25 0.32 9700	0.4 0.6 21960		0.15 1.0 15600	0.6 0.8 1.0 28500	1.2 1.5 38600	1.0 1.4 1.8
وزن المجرفة (kg)	9750	8530		223300	15000		30100	49000	33500

الجدول 4-25: تابــع

طول الدراع (mm)	7300 9100 10900	7500 9700 11500		10000 13000 15000	7200 7570		11000 13000 15000 14430[2]	13000 23000	12000
البعد عن محور الدوران (m)	4400	4600	6100	8600	8210 3460	5800	8900 7530	17400[2]	10000 6200[2]
ارتفاع التفريغ (mm)	6700	6700	3500	9400	5400	3900	10880	18000[3]	6100 6000
عمق الحفر تحت المستوى (mm)	3860	3700	4700	6700	5720 5100	9500	4970	16900[2] 11000	10800[3] 11000 10900

1) معطيات الذراع 13 m، زاوية انحراف 55°، لاقط بسعة $0.4\ m^3$.

2) المعطيات لأكبر ذراع

3) حسب نوع اللاقط

الجدول 4-26: عوامل الاستفادة من عمل الآليّة

الظروف التنظيمية للعمل مستوى الخدمة	تحميل على شاحنات	بدون تحميل على شاحنات
تنظيمٌ وخدمةٌ جيدّان وعمل مستمر	0.83	0.90
تنظيم متوسط وخدمة جيدة وعمل مستمر	0.80	0.85
تنظيم وخدمة متوسطان وعمل مستمر	0.75	0.80
تنظيم وخدمة متوسطان وعمل متقطع	0.65	0.75

ارتفاعات الحفر الطبيعية

ارتفاع الحفر حيث الوعاء يمتلئ بشكل كامل وخلال دورة عمل واحدة وعند الارتفاعات الأصغر لا يمتلئ الوعاء بشكل كامل لذا تتم التعبئة مرتين حيث يصغر عامل الامتلاء أو يزيد زمن الدورة.

الجدول 4-27: ارتفاعات الحفر الطبيعية

سعة السطل / تصنيف التربة	ارتفاع الحفر		
	I-II	III	IV
0.5	1.5	2.0	2.5
1.0	2.0	2.5	3.0
1.5	2.5	3.0	3.5
2.0	3.0	3.5	4.0

الجدول 4-28: المواصفات الفنية للتركسات المزودة بوعاء واحد

	E-2	E-31	E-3 P	175 C
نـــوع	دواليب	دواليب	محورين	مجنـــزر
نوع التحكّم	هيدروليكي	هيدروليكي	هيدروليكي	هيدروليكي
سعة الوعاء (m^3)	1.25	2.50	3.40	1.52
عرض الوعاء (m)	2.30	-	-	2.18
ارتفاع الحمولة (m)	3.20	2.80	3.40	2.69 ÷ 2.54
سرعة الحركة للأمام والخلف kn/h (I-IV)	38 ÷ 6	40 ÷ 7	39 ÷ 7	9.6 ÷ 5.3 للأمام 8.5 ÷ 4.5 للخلف
المحرّك				
النوع	ضغط عالي	ضغط عالي	ضغط عالي	ضغط عالي
القوة (KW)	85 9.50	105 15.80	162 18.30	96 14.36

الجدول 4-29: المواصفات الفنية للتركسات المزودة بعدة أوعية

	EWK-102	EWK-103
سعة الوعاء (L)	100	100
عدد الأوعية	8	8
الإنتاجية النظرية (m^3 / h)	530	530
ارتفاع الحفر (mm)	D-6500	0-7500
زاوية الدوران (درجة)	360	360
طول الحامل (mm)	14730	17000
سرعة الحركة (m / min)	4.5	4.5
قوة المحرك (KW)	94	108
الوزن (t)	55.9	59.5

الجدول 4-30: المواصفات الفنية للبلدوزرات المجنـــزرة

المواصفات	نوع البلدوزر						
	S-651 LS رومانيا	**S-1500 ST** رومانيا	**D-606** روسيا	**D-492** روسيا	**TD-572** روسيا	**TD-15 C** بولونيا	**TD-25 C** بولونيا
نوع المحرّك	S-651	S-1500	DT-75	T-100 M	DET-250	TD-15 C	TD-25 C
قوة المحرّك (KW)	48	110	55	74	221	104	209
نوع حركة الترس	هيدروليك	هيدروليك	هيدروليك	هيدروليك	هيدروليك	هيدروليك	هيدروليك
طول الترس (m)	3.0	3.89	2.52	3.97	4.54	3.15	3.98
الارتفاع الأعظمي لرفع الترس (m)	0.73	1.03	0.60	1.10	-	0.91	1.47
الحد الأعظمي على السرعات (I ÷ km / h IV,)	0.30	0.33	0.20	1.00	0.40	0.41	0.51
سرعة الحركة km / h	9.78 ÷ 2.58	7.20 ÷ 2.40	10.7 ÷ 4.06	10.23 ÷ 2.38	12.5 ÷ 2.0	9.6 ÷ 4.3	10.1 ÷ 4.2
إلى الخلف على السرعات I ÷ IV	11.62 ÷ 3.39	8.51 ÷ 2.84	4.35 ÷ 3.48	7.70 ÷ 2.81	12.5 ÷ 2.0	6.7 ÷ 5.1	6.3 ÷ 5.0
الوزن t	6.26	20.8	6.93	14.02	31.80	10.96	30.3
تجهيزات إضافية	-	-	-	-	-	ريـــسر	محراث

الجدول 4-31: كمية الأعمال الترابية الأصغرية التـــي تسمح لنا باستخدام آليّة ميكانيكية لتحقيق الجودة والاقتصادية:

نوع الآليّة والأعمال	الواحدة	الكميات الأصغرية للأعمال الترابية				
		I-II	III	III-IV	IV	V-VI
مجرفة مدولبة مع النقل والتحميل على الشاحنات:						
$q = 0.15\ m^3$	m^3	300	100	-	-	-
$q = 0.25 \div 0.40\ m^3$ مجارف	m^3	500	-	250	-	-
مجرفة مع النقل والتحميل على الشاحنات بسعة وعاء:						
$q = 0.20\ m^3$ لاقطة أمامية	m^3	700	300	-	-	-
$q = 0.25\ m^3$ لاقطة أو دلو مسحوب	m^3	700	-	300	-	-
$q = 0.60\ m^3$	m^3	800	-	400	-	250
$q = 1 \div 1.2\ m^3$	m^3	1000	-	600	-	-
$q = 1.2\ m^3$أمامية	m^3	1000	-	600	-	400
مجرفة مدولبة بدون تحميل على شاحنات:						
$q = 0.15\ m^3$ مجرف بلدوز –	m^3	200	100	-	-	-
$q = 0.25 \div 0.40\ m^3$ مجرفة	m^3	600	-	300	-	-

الجدول 4-32: الميول المسموحة للمناطق التـــي تعمل عليها البلدوزرات

نوع الحركة	الميل الأعظمي للطريق %	
	الطولية	العرضية
– صعوداً مع حمولة	18 ÷ 15	30
– صعوداً بدون حمولة	40 ÷ 35	30
– نزولاً مع حمولة	45	30

الجدول 4-33: علاقة إنتاجية البلدوزر بانحدار منطقة العمل

انحدار المنطقة	الدرجة						
	20	15	10	5	3	2	
الإنتاجية %	172	154	136	118	111	107	100

الجدول 4-34: المواصفات الفنية للغريدر

الوزن	السرعة القصوى للأمام/ الخلف	عدد السرعات	أبعاد الترس	قوة المحرّك	عدد المحاور	بعد المنشأ	نوع الغريدر
16.9	40.1/ 40.6	4/4	600×4000	142	3	بولونيا	RSH-200
9.15	31.3/ 11.95	6/2	500×3040	66	3	روسيا	D-710 A
12.79	36.8/ 16.5	6/2	565×3700	81	3	روسيا	DZ-31 (D-557)
18.50	30.0/ 5.96	8/2	700×3700	184	3	روسيا	DZ-98 (D-395 B)
4.48	40/ 8.5	8/2	400×2654	39	3	ألمانيا	SHM 2
8.0	42/42	10/7	530×3450	74	3	ألمانيا	SHM 3-100
11.85	-	6/6	600×3750	110	3	ألمانيا	SHM – 5

الجدول 4-35: المواصفات الفنية للمجارف الخلفية

	نوع المجرفة									
	KS-251	KM-251	K-406 A1	K-408	E-3028	KM-602 A	K-606	KB-1212	KU-1207	D-141
سعة الوعاء (m^3)	0.25	0.25	0.4	0.4	0.4	0.6	0.63	0.8	1.2	1.0
								1.3	1.5	1.4
										1.6
وزن المجرفة (kg)	9800	7380(1								36000
		7690	8550	9500	11700	20820	15000	30800	40600	37500
		7950								
			6850(2	6850(2						
	5400	4900	7200	7200	5900	7900	8080	8560	9800	9700(3
	5200	3700		7000(2	6200	7900	7290	6270	7700	8200(2
				7900						
عمق الجرف تحت المستوي (mm)	800	-	2800(2	2850(2	-	1500	3650	900	2500	2000(3
			2160	2200						

الجدول 4-35: تابـــع

	نـــوع المجرفة									
	KS-251	KM-251	K-406 A1	K-408	E-3028	KM-602 A	K-606	KB-1212	KU-1207	D-141
أكبر ارتفاع للحمولة (mm)	3800	3400	3400(2	4850(2	4300	5700	4510	4450	4800	5400(3
			4400	4440						
				4000(2						
نصف قطر التفريغ عند أعلى تفريغ (mm)	3000	3000	-	3550	4500	6600	-	7750	-	7400(3
										8400(3
أكبر نصف قطر تفريغ (mm)	4300	4300	-	-	5400	7400	-	-	8700	7400(3
ارتفاع التفريغ عند نصف قطر التفريغ الأعظمي (mm)	-	-	-	-	2900	3000	-	-	-	3000(3

1) حسب عرض الجنـــزير.

2) حسب توضع ذراع الجر.

3) مواصفات المجارف بسعة وعاء $1.4\ m^3$.

الجدول 4-36: المعلومات الفنية للمجارف الخلفية

	نوع المجرفة										
	KS-251	KM-251	K-406 A1	K-408	KM-602 A	K-606	M-250 H	MB-1212	KU-1207	D-141	M-500H
سعة الوعاء (m^3)	0.25	0.25	0.4	0.4	0.6	0.45	0.8	0.9	1.2	0.95	1.5
							0.9	1.2	1.5	1.20	1.7
وزن المجرفة (kg)	9550(1	7530	85500	9500	1980	15000	24500	30400	33700	35000(3	52000
	9940	7840								36500(3	53000
		8100									
عمق الجرف تحت المستوي (mm)	6450(1	6600(1	6620	6350		6420			11500		
					9800		9200	10820			13000
أكبر ارتفاع للحمولة (mm)	6900(2	7000(2	7000	6730		8340				11500	
										11700	
نصف قطر التفريغ عند أعلى تفريغ (mm)	3200(1	3700(1	3600	3750	7100	1620	5200	7200	8500	6600(3	8500
	4200(2	4600(2	3200	3350		4510				6500	
	1700(1	1700(1			2700				5600		
	2200(2	2200(2									
	2700(1	2300(1			4500				3000		
	3600(2	2600(2									

الجدول 4-36: تابـــع

	نوع الجرافة										
	KS-251	KM-251	K-406 A1	K-408	KM-602 A	K-606	M-250 H	MB-1212	KU-1207	D-141	M-500H
أكبر نصف قطر للتفريغ (mm)	4700(1	4700(1		6620							
	5800(1	5800(2		7000	6900			7500	900		6700(3
											6700
	5200(1	4800(1	4230							6400(3	
				1470	7000	4650	5100(4	5550	5100		
ارتفاع التفريغ عند نصف قطر التفريغ الأعظمي (mm)	4800(3	4400(2	4800			6720				6500	6700(4

1) وعاء عادي.

2) وعاء لجرفيات عميقة.

3) حسب سعة الوعاء.

4) الارتفاع الأعظمي للتفريغ.

الفصل الخامس

تنفيذ الأعمال الترابية بواسطة التفجير

1.5 تعريف

التفجير: هو عبارة عن فصل التربة عن كتلتها الأساسية، وجرفها إلى مسافة غير كبيرة نتيجة طاقة انفجار شحنات للمواد الانفجارية، بحيث توضع في حفر وثقوب خاصة تنشأ لهذه الغاية.

2.5 استخدامات التفجير

1. نستخدم التفجير بشكل أساسي من أجل خلخلة الترب الصخرية القاسية التـــي لا يمكن معالجتها بالوسائل الميكانيكية أو الهيدروديناميكية (الأعمال الترابية الصعبة).
2. في الأماكن غير المأهولة يعدّ التفجير من الطرق الأساسية في تنفيذ الأعمال الترابية.
3. في المناطق المأهولة لا نستخدم التفجير إلاّ في حالات خاصة.
4. يستخدم التفجير للمساعدة في إنشاء السدود الترابية والحجرية إضافة إلى الستائر الترابية وحفر القنوات.
5. يستخدم في الأعمال التحضيرية في هدم الأبنية القديمة بهدف إزالتها أو إعادة بناؤها.
6. كما يستخدم في تنفيذ الحفريات والخنادق والقنوات والكهوف.

3.5 تعريف الشحنة

هي كمية من المواد المتفجّرة والمحدّدة بالوزن، وبشكل توضّعها في الكتلة الترابية أو الصخرية المراد تفجيرها. والشحنة يمكن أن تكون مركّزة أو متطاولة أو متقطّعة، وبالنسبة لتوضّعها في الكتلة الصخرية، فهي تأخذ حالتين:

آ- خارجية: تتوضّع على سطح الجسم المراد تفجيره.

ب- داخلية: تتوضّع داخل الجسم المراد تفجيره.

4.5 المواد المتفجّرة

يرافق انفجار شحنة المتفجرات إطلاق للطاقة وموجة صادمة مع ضغط للغاز، حيث تستطيع هذه الطاقة تحطيم أكثر أنواع الصخور متانة، وتبعاً لسرعة الانفجار فإنها تقسم إلى ثلاث مجموعات:

1. المتفجرات الصاعقة والخطيرة:

تتصف بسرعة تفجّرها حال التأثير المباشر من خلال الشرارة أو النار أو الطرق أو الاحتكاك. لذلك تتصف بالخطورة. وتشمل هذه المجموعة: المتفجّرات الزئبقية، أسيد الرصاص.

2. المتفجّرات سريعة الانفجار:

تتميز بحساسيتها للطرق، فهي توفر الأمان بالتعامل معها مما أدّى إلى استخدامها الواسع وتشمل: الديناميت، الأمونيت، التروتيل.

3. المتفجّرات البطيئة:

تتميز ببطء سرعة الانفجار، وتشمل: البارود بأنواعه - خلطة من نترات الأمونيات والكبريت والفحم.

5.5 أساليب التفجير

1.5.5 الأسلوب الناري

يعدّ الأسلوب الأساسي، ويتم بوساطته تفجير الشحنات المفردة (تفجير جذور الأشجار - حفر القنوات الأفقية - تفجير الأساسات)، ويتم التفجّير بوساطة:

1. كبسولة الصاعق وفتيل ناقل للّهب (الفتيل الصاعق) إضافةً إلى أنبوبة توليد اللهب (الأنبوبة الحارقة).
2. أنبوبة حارقة + فتيل اشتعال + مشعل ميكانيكي أو احتكاكي.

الأنبوبة الحارقة:

هي عبارة عن أنبوبة معدنية مزوّدة بفتيل اشتعال طرفه الحر ذو قصّ مائل، ويمكن إعدادها في موقع العمل.

الصاعـــق:

يكون مغلف بغلاف من الألمنيوم أو النحاس أو الورق ويقوم بتفجّير الشحنة، ويحدث انفجار الصاعق تحت تأثير شرارة الفتيل المشتعل (الشكل 5-I).

2.5.5 أسلوب الفتيل الصاعق

يستخدم للتفجير الآلي لعدة شحنات، ويحتوي الفتيل بداخله على مواد متفجّرة من مجموعة المتفجرات السريعة. وتكون المواد المتفجرة محاطة. بخيطين موجهين وبعدد من الخيوط المغلفة المحاطة بمادة عازلة للرطوبة. وفي هذا الأسلوب يتمّ التفجير بطريقتين:

آ- بواسطة الأنبوب الحارقة:

إذا كانت نهايات الفتيل الصاعق لا تزيد على (6).

ب- بواسطة وصلة ربط أسطوانية:

إذا كانت نهايات الفتيل الصاعق تزيد عن (6).

حيث يوصل الفتيل بعد خروجه من الشحنات على التسلسل أو على التفرع أو بشكل رزم.

3.5.5 الأسلوب الكهربائي

يستخدم عند تفجير عدد كبير من الشحنات، ويحتاج هذا الأسلوب إلى: أجهزة فحص وقياس كهربائية – أشرطة وصل كهربائي – مولد تيار كهربائي – صاعق كهربائي.

ونميّز للصاعق الكهربائي حالتين:

آ- صاعق كهربائي سريع التأثر:

وتكون كبسولة الصاعق، والمشعل الكهربائي مجموعتين في مظروف معدنـــي.

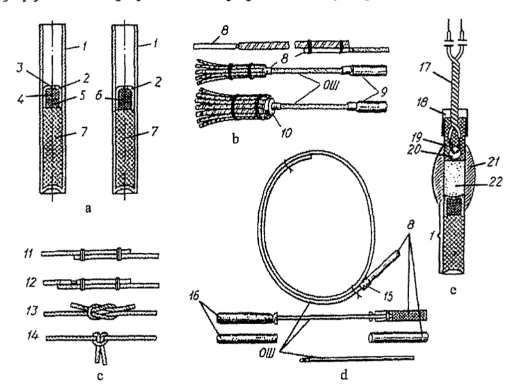
ب- صاعق كهربائي بطئ الانفجار:

حيث يحتوي إضافة لما يحتويه الصاعق سريع التأثر على مبطئ انفجار متوضّع بين مركب

الاشتعال وكبسولة الصاعق (الشكل 5-1).

وأما مولّدات التيار الكهربائي، فيمكن أن تكون:

مولدات ميكانيكية – أو بطاريات جافة – أو مولّدات حمضية أو مولّدات الطاقة والإنارة.

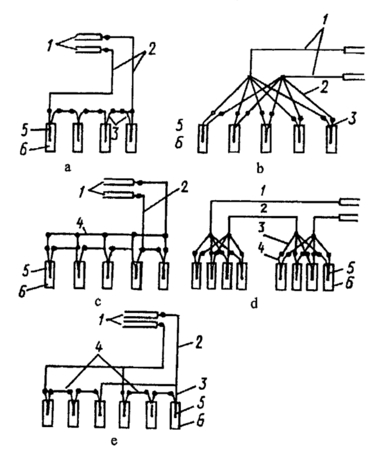


a- الصاعق، b- طرق تفجير ووصل الفتيل الصاعق، c- طرق ربط الفتيل الصاعق
d- الأنبوبة الحارقة، e- صاعق كهربائي

1- غلاف الصاعق	2- قمع	3- شبك معدني
4- مادة متفجّرة صاعقة	5- أسيد الصاعق	6- مادة متفجّرة صاعقة زئبقية
7- تروتيل	8- الصاعق	9- فتيل
10- الفتيل الصاعق	11- الوصل الثنائي	12- الوصل الثنائي مع الصاعق
13- الوصل على شكل العقدة البحرية	15- عازل	16- الفتيل المحترق
17- أقطاب التيار الكهربائي	18- غلاف بلاستيكي	19- الشريط المتوهج
20- الخليط القابل للاشتعال	21- عازل بلاستيكي	22- مبطئ انفجار
23- فتيل الاشتعال		

الشكل 5-1: معدّات أسلوب التفجير الناري والكهربائي

ويتمّ وصل شبكات التفجير حسب نوعية مولدات التيار الكهربائي على التسلسل أو على التوازي بالصواعق، ويبيّن (الشكل 5-2) طريقة وصل الشبكة الكهربائية للتفجير.



a- على التسلسل، b- حزمية، c- على التوازي بشكل متدرج، d- متوازي متسلسل، e- متسلسل متوازي

1- خط التيار الرئيسي 2- خط واصل 3- خط طرفي

4- خط فرعي 5- صاعق كهربائي 6- شحن مواد متفجرة

الشكل 5-2: مخططات وصل الشبكة الكهربائية للتفجير

6.5 الطرق الأساسية لتنفيذ الأعمال الترابية بواسطة التفجير

تتضمن عملية معالجة التربة بواسطة التفجير الأمور التالية:

1. إنشاء مكان لوضع المتفجرات (حفر آبار أو ثقوب أو عمل تجاويف ضمن الصخور).

2. تحضير ووضع شحنة المواد المتفجرة.

3. تفجير الشحنة وتحميل التربة المفتتة.

نختار تكنولوجيا التفجير بحيث تؤمّن الأمور التالية:

- نختار حجم العبوة الكافي لتفتيت التربة والصخور بالنعومة المطلوبة، وتحقيق الميول المطلوبة للحفريات والردميّات.
- اقتصادية وأمن العمل.
- تأمين كمية من التربة المخلخلّة بوسائل التفجير تسمح بالعمل المتواصل لآليات الحفر والتحميل (الشكل 1-5-a, b).

إنّ الفعالية الخارجية لتأثير انفجار العبوة يحدّد:

- بقطر الحفرة المتشكّلة مأخوذاً على سطح الأرض (r).
- وكذلك العمق الظاهر لهذه الحفريّات p. (من سطح الأرض حتـــى قعر الحفرة الظاهر).

أما التأثير التدميري لانفجار العبوة يتمّ تحديده بعامل تأثير الانفجار n بالعلاقة (5-1):

$$n = \frac{r}{w} \qquad (1\text{-}5)$$

حيث:

r: قطر الحفرة.

w: مسافة المقاومة الدنيا: وهي المسافة من مركز العبوة حتـــى المستوى الأقرب للسطح الحر (الشكل 5-3).

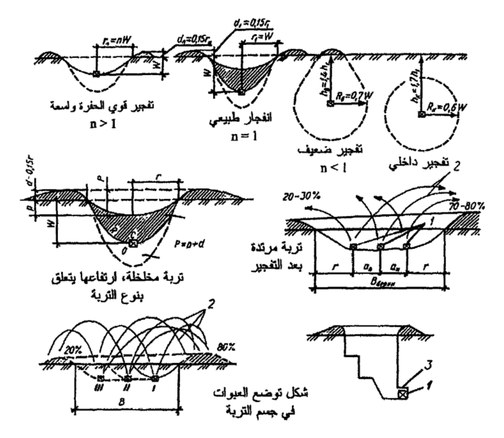
وحسب n يتمّ التصنيف التالي:

n = 1: الحفرة عادية والانفجار طبيعي.

n > 1: الحفرة واسعة والانفجار قوي.

n < 1: الحفرة غير موجودة والانفجار داخلي.

n = 0: الانفجار يتمّ داخل سطح الأرض.



الشكل 5-3: شكل توضّع عبوات التفجير في التربة

ونميز الطرق التالية للتفجّير:

1.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الثقوب

تستخدم للتفجّير السطحي، وللتفجير تحت الأرض (الحفر المكشوفة والداخلية)، يتم وضع الشحن في الثقوب حتـــى ارتفاع $\frac{2}{3}$ من طول الثقب، أما الثلث الباقي فيملأ بخليط من الرمل والغضار ثم بعد ذلك بالرمل.

يتم تفجير الثقوب الواقعة في كل صف بشكل متزامن حيث يتم في البدء تفجير الصف القريب إلى حافة الحفرة وبعد ذلك الصف الذي يليه وهكذا حتـــى النهاية.

في حالة الصخور الكبيرة والمتوضّعة بشكل منفرد فإننا نقوم بعمل ثقوب ذات أقطار غير كبيرة 25-30 mm وبأطوال (50-75)% من ارتفاع الصخرة (الشكل 5-4)، أما المسافة بين الثقوب فتؤخذ مساويّة لارتفاع الصخرة أو لضعفي ارتفاع الصخرة ويتم تفجير جميع

الثقوب في الوقت نفسه.

2.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الآبار

يتم إنشاء صفوف من الآبار العميقة على طول جبهة الحافة العالية للكتلة الترابية، ويملأ الجزء السفلي للبئر بالشحنة المتفجّرة، أما القسم العلوي فيُجرى سدّه بمادة متفككة أو ناعمة.

يصل طول الآبار (10-30) م وقطرها حتـــى (300) مم، وعادة يجري تعميقها إلى أسفل قعر الحفرة بمقدار (1-2) م (الشكل 5-4).

تتعلق المسافة من الصف الأول للآبار إلى أقرب سطح حر (w) بارتفاع الحفر، ويؤخذ على الشكل التالي:

0.5H من أجل $H = 10m$

0.25H من أجل $H = 25m$

وتحسب المسافة بين الآبار من العلاقة (5-2):

$$a = (0.7 \rightarrow 0.9)W \qquad (2\text{-}5)$$

أما المسافة بين الصفوف فتحسب من العلاقة (5-3):

$$b = (0.7 \rightarrow 0.8)W \qquad (3\text{-}5)$$

ويتم التفجير بالوسائط الكهربائية أو الفتيل الصاعق. ويمكن القيام بالتفجير بشكل سريع أو بطيء.

3.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في التجويف (العبوة بشكل حوجلة)

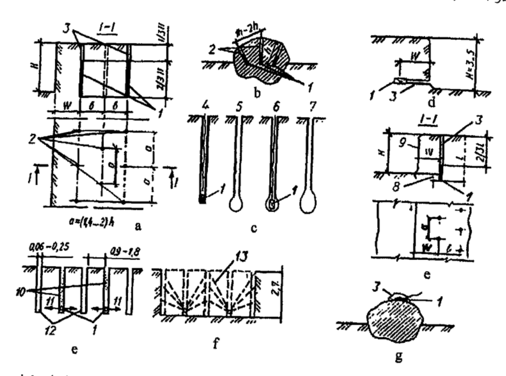
تستخدم في الحالات التـــي لا يتسع فيها الثقب أو البئر لحجم الشحنة من المادة المتفجّرة عند ذلك نقوم بعمل تجويف في قعر الثقب أو البئر (توسيع قاعدته على شكل كرة)، ونقوم بالتفجّير عن طريق تفجير شحنة أو عدة شحنات محشوّة بالتتالي.

ميزات هذه الطريقة:

1. تؤمن إمكانية وضع كمية كبيرة من المادة المتفجرة.
2. التوفير في أعمال حفر الآبار أو الثقوب ذات الكلفة العالية.

4.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الجيوب الصغيرة (الأكمام)

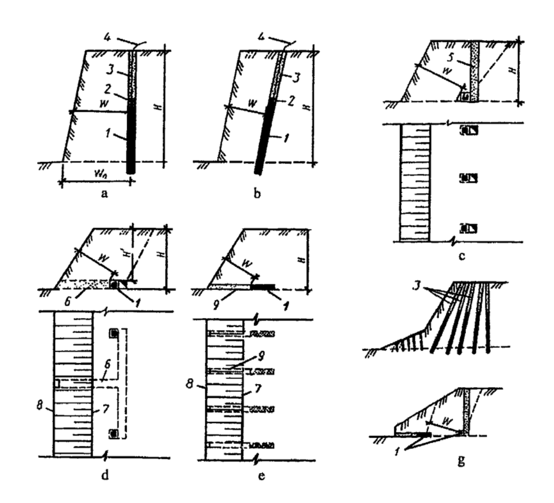
تستخدم عندما لا يزيد ارتفاع الكتلة المراد تفجيرها على 6m، وفي حالة التربة غير الصخرية وأيضاً في حالات التفجير الخاصة مثل تفجير أساس معين (الشكل 5-5)، ويجب أن يساوي طول الجيب (الكم) $\frac{2}{3}$ من ارتفاع الحفرة وبحيث لا يزيد عن 6m وتكون المسافة بين الجيوب $b = (0.8 \rightarrow 1.5)W$.



a- توضّع العبوات في الثقوب، b- توضع العبوات في الثقوب لتفجير صخرة، c- تسلسل تنفيذ الفجوات في الثقوب، d- توضع العبوة في الجيب، e- توضع العبوة في الآبار المحفورة مسبقاً، f- توضّع العبوة في الشقوق، g- توضع الحشوة السطحي

1- العبوة
2- الثقوب
3- سدادة
4- حشوة التفجير المبدئي
5- نتيجة التفجير المبدئي
6- حشوة التفجير التالي
7- نتيجة التفجير التالي
8- مقدار النزول عن سطح الأرض الجانبية
9- جبهة العمل
10- شقوق مجهزة للعبوات
11- اتجاه انهيار التربة بعد الانفجار
12- شق خال من العبوة
13- خط انهيار الكتل الواقعة ما بين الشقوق

الشكل 5-4: أشكال وطرق وضع العبوات أثناء القيام بعمليات خلخلة التربة



a- حشوة الآبار الشاقولية، b- حشوة الآبار المائلة، c- الحشوة الجيبية الشاقولية،
d- الحشوة الجيبية الأفقية، e- الحشوة الجيبية،
f- الحشوات المركبة حشوة الآبار وحشوة الثقوب، g- الحشوات المركبة الجيبية الشاقولية والأفقية

1- العبوة 2- الصاعق 3- سدادة
4- الفتيل الصاعق 5- كوة الحشوة 6- دهليز
7-8- الحافة العليا والسفلى للكتلة الترابية 9- جيب

الشكل 5-5: توضع العبوات لمختلف أشكال تفجير الكتل الترابية

5.6.5 طريقة الشحنات المتوضعة في الحجرات

تستخدم في تفجير الكتل الكبيرة بطريقة القذف أو الهدم وتتلّخص بإنشاء ممّرات شاقولية وأفقية ضمن التربة تنتهي بحفر جانبية، حيث توضع الشحنات الكبيرة من المتفجرات أو الألغام.

6.6.5 طريقة الشحنات المتوضّعة في الشقوق

تستخدم بشكل رئيسي لخلخلة التربة المتجمّدة، حيث يتم وضع الشحنة في شق واحد وسطي من كل ثلاثة شقوق متجاورة.

الشقوق الطرفية والانتقالية تعمل على استيعاب انزياح الترب المتجمدة أثناء التفجير والتقليل من الأثر الزلزالي له.

7.6.5 طريقة الشحنات المتوضعة على السطح

تستخدم لتحطيم السطوح المنفردة بما فيها الصخور المتوضّعة تحت الماء إضافة إلى استخدامها في الأعمال الخاصة لهدم المنشآت المعدنية وللتقليل من تطاير الأجزاء، يتم تغطية شحن متوضعة بطبقة من التربة المتماسكة أو الانهيارية.

تفجر عادة الشحنة المنفردة بالأسلوب الناري، وفي حال مجموعة شحن تفجر الشحن بالفتيل الصاعق.

تتصف هذه الطريقة بالاستهلاك المرتفع للمادة المتفجرة وبالتطاير الكبير لأجزاء المادة الجاري تفجيرها.

8.6.5 الطريقة المختلطة

يمكن الاستخدام المشترك لأكثر من طريقة من الطرق الرئيسة السابقة للتفجير.

مثال: عند شق الخنادق وتوسيع الحفر والطرق الجبلية تم الجمع بين حشوات الآبار وحشوات الصخور.

7.5 خلخلة التربة بواسطة التفجير

1. الخلخلة بواسطة الشحنات المتوضعة في الثقوب:

تستخدم تبعاً لعمق حفرة الخندق المراد تنفيذها على طبقة واحدة (الشكل 5-6) أو على عدة طبقات، ويتعلق عدد الطبقات بنوعية التربة، أما بالنسبة لعدد الصفوف فيؤخذ على الشكل التالي:

آ- في الخنادق التـي عرضها في الأعلى قريب من عمقها: يتمّ خلخلتها في حشوات

متوضعة في ثقوب على صف واحد.

ب- في الخنادق التـــي عرضها في الأعلى يصل إلى 1.5 عمقها: يتمّ استخدام صفين من الشحنات، وإذا كان العرض أكبر من ذلك نستخدم ثلاثة صفوف أو أكثر حسب الحاجة.

ج- من أجل الخنادق العميقة والضيقة: يؤخذ ارتفاع الطبقة من (0.5-0.7) العرض.

2. الخلخلة بواسطة الشحنات المتوضّعة في الآبار:

تستخدم في تشكيل الحفر ذات الحجم الكبير. تتم الخلخلة على كامل المقطع:

آ- من أجل خنادق عمقها حتـــى 15m وميل جوانبها لا يقل عن 1:1.

ب- من أجل خنادق عمقها حتـــى 8m ميلها يقل عن 1:1.

تنفيذ الخلخلة على طبقات شاقولياً من أجل الأعماق الأكبر للخنادق، وفي حال ميلها يقلّ عن 1:1.

8.5 تنفيذ الحفر بواسطة التفجير الموجّه (التفجير القاذف)

تستخدم أثناء الحفريات والخنادق والردميات والسدود الترابية إضافة إلى حالات تنظيف وتعميق الأنهار وتعزيلها وتوسيعها، وحسب مقاييس الحفر يمكن أن توضع شحنات منفردة ومركّزة أو موزّعة.

ويمكن أن نقوم بتفجير عدة شحنات بآن واحد متوضّعة في صف واحد أو عدة صفوف.

إذا كنا نريد إنشاء خندق في مقطع مثلث نقوم بتفجير صف واحد من العبوات المتقاربة.

للحصول على حفرة مقطعها شبه منحرف نضع العبوات في صفين أو ثلاثة صفوف

إنّ زيادة عدد الشحنات عن المطلوب غير محبذ، وذلك لتفادي عودة التربة إلى الحفرة مرة ثانية بعد الانفجار، في حالة وجود ثلاثة صفوف من الشحنات، فإنّ الصف الأوسط تكون شحناته أكبر من الشحنات الجانبية بنسبة 25-50%.

تحدد كمية الشحنة بالعلاقة (5-4):

$$Q = k \cdot \overline{w}^3 \cdot \left(0.4 + 0.6n^3\right) \qquad (4\text{-}5)$$

حيث:

Q: كمية المادة المتفجرة مقدرة بالـ kg.

k: عامل يتعلق بخواص التربة وبنوعية المادة المتفجرة.

$\overline{w}$: خط المقاومة الدنيا.

n: عامل فعالية المادة المتفجرة الذي يتراوح ما بين 3-1.

كما ويمكن حساب كمية المادة المتفجرة بالعلاقة (5-5):

$$Q = A \cdot b \cdot r^3 \qquad (5\text{-}5)$$

حيث:

Q: كمية المادة المتفجرة (kg).

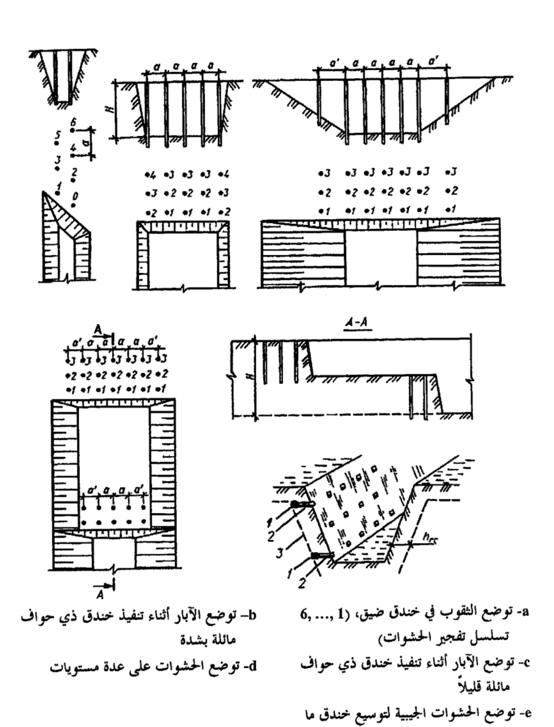
A: عامل يتعلّق بنوعية التربة ونوعية التفجير.

b: عامل يتعلّق بمقياس الحفرة المراد تفجيرها.

r: قطر الحفرة المتشكلة من الانفجار (m).

9.5 أمن العمل أثناء القيام بالتفجير

1. يقوم بأعمال التفجير فنييون مختصّون بأعمال التفجير.
2. أماكن التفجير نحاول عزلها عن الأماكن القريبة منها، وذلك بوضع إشارات تشير إلى خطر.
3. على كلّ عامل يتواجد في منطقة التفجير أن يُعلّم بإشارة الاحتماء.
4. أثناء وضع الصواعق ونقلها يجب أخذ الحيطة كاملة لتفادي الصدمات ودرجات الحرارة العالية.
5. يجب الأخذ بعين الاعتبار أنّه تحت تأثير الرياح تتزايد مسافة سقوط نواتج الانفجار بمقدار %(20-50) باتجاه الرياح، لذلك علينا تمديد أشرطة الوصل والفتيل الصاعق قبل وضع الشحنات، ووضع إشارات تشير إلى خطر في المسافات الزائدة باتجاه الرياح، وبحيث تحيط مسافات سقوط النواتج عن الانفجار بالكامل.



a- توضع الثقوب في خندق ضيق، (1 ,... ,6 تسلسل تفجير الحشوات)

b- توضع الآبار أثناء تنفيذ خندق ذي حواف مائلة بشدة

c- توضع الآبار أثناء تنفيذ خندق ذي حواف مائلة قليلاً

d- توضع الحشوات على عدة مستويات

e- توضع الحشوات الجيبية لتوسيع خندق ما

1- الحشوة، 2- السدادة، 3- خطوط حدود تأثير التفجير

الشكل 5-6: أشكال توضع الحشوات أثناء تنفيذ الحفريات أو توسيعها

10.5 الطرق الهيدروميكانيكية لتنفيذ الأعمال الترابية

تستخدم هذه الطرق الماء من أجل تنفيذ أعمال جرف التربة لسطح ما ونقلها وتوزيعها ضمن حدود الموقع أو خارجه.

أهم ميّزاتها:

1. الإنتاجية العالية.
2. استمرارية في تنفيذ الأعمال.
3. تنفيذ الأعمال في أماكن يصعب الوصول إليها (تحت سطح الماء – تحت سطح الأرض) ودون اللجوء إلى أعمال مساعدة (تجفيف التربة – إنزال مناسيب المياه الجوفية ...).
4. تكون اقتصادية وفعّالة في الأعمال التـــي تتضمن حجوماً كبيرة للأعمال الترابية.
5. تكون فعّالة في الترب القابلة للذوبان في الماء.

هذه الطرق تتطلب:

1. إنشاء شبكة من الأنابيب والبواري الناقلة للمياه إضافة إلى تجهيزات فنيّة خاصة.
2. توفر مصادر الحصول على الماء والطاقة.

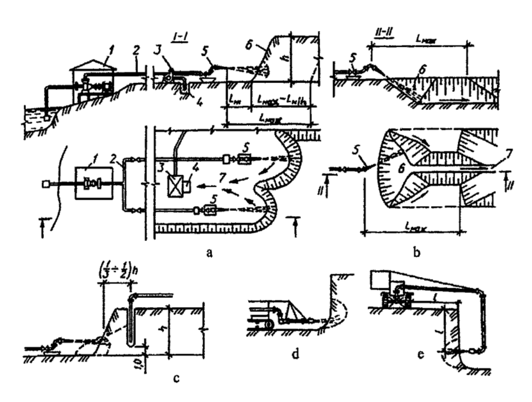
تستعمل هذه الطرق للتسوية، حيث نقوم بحفر التربة بواسطة الماء في أماكن الحفر وننقلها أيضاً بوساطة الماء إلى أماكن الردم.

نقوم بجرف مساحات واسعة من التربة بالماء من أماكن أخذ التربة بطريقتين:

- مدافع الماء: تستخدم عند أخذ التربة من أماكن على سطح الأرض (الشكل 5-7).
- أجهزة تجريف وضخ التربة من تحت الماء: وذلك عندما نقوم بجرف التربة من أجل إنشاء الردميات وتنظيف مقر الأنهار وتوسيعها (الشكل 5-8).

1.10.5 مدافع الماء

وهي عبارة عن اسطوانة معدنية في مقدمتها فوهة للتحكّم بشدة خروج الماء من الموقع وهذه الأسطوانة مزودة بساعد يمكن تحريكها في جميع الاتجاهات الشاقولية والأفقية، ويتم تزويدها بالماء من خلال أنبوب ضخ من محطة ضخ خاصة.



a- طريقة الحفر الجبهي من الأسفل إلى الأعلى، b- طريقة الحفر التراجعي من الأعلى إلى الأسفل،
c- الحفر الجبهي من الأسفل إلى الأعلى بمساعدة الآبار، e,d- المدافع المحمولة على مجنـــزرات

1- محطة ضخ 2- أنبوب تغذية بالمياه 3- مضخة ضخ للخليطة الطينية
4- حفرة تجميع 5- مدافع الماء 6- جبهة العمل
7- قنوات لتصريف الخليطة الطينية

الشكل 5-7: معالجة التربة بوساطة مدافع الماء

طريقة عملها:

عند تزويد المدفع بالماء من أنبوب الضخ تتشكل قوة دفع كبيرة تقوم بحفر التربة وجرفها فتتشكّل الخليطة الطينية التـــي تتجه عير قنوات تصريف سطحية لمكان توزيع التربة أو تشكيل الردميّات.

ويتم نقل الخليطة الطينية بواسطة مضخات خاصة تضخ الماء الحامل للتربة عندما:

1. تكون مسافة النقل بعيدة.
2. يكون مكان الردم أو الحفر أعلى من مستوى الحفر.

ونتحكّم بسرعة تدفق الماء وكميته بواسطة تغيير فوهات المداخن 50 → 200 mm وضغط 0.2 → 15 MPa.

أساليب الحفر بواسطة مدافع النقل:

توجد طريقتين:

آ- الحفر الجبهي.

ب- الحفر التراجعي.

آ- الحفر الجبهي:

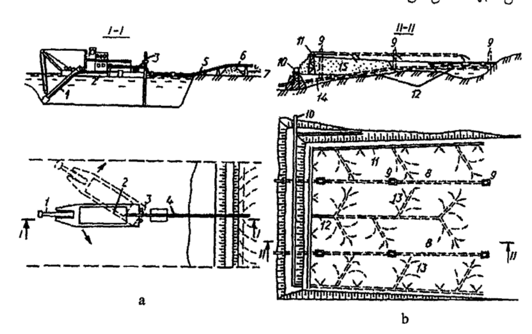
1. يركّز مدفع الماء على القاعدة المواجهة لجبهة الحفر، ويكون تقدّم الماء بالاتجاه المعاكس لتصريف الماء الحامل للتربة المحفورة (الشكل 5-8).
2. في الترب الرملية غير المتماسكة: نقوم بقذف الماء على عرض جبهة العمل ذات الميول المتساوية، أما في الترب الغضارية المتماسكة التـــي تكون ميولها قريبة من الشاقول نقوم بقص قاعدة جبهة العمل من الأسفل حتى انهيار كتلة التربة العليا ثم نقوم بتصريف التربة المنهارة وتجريفها بوساطة الماء المندفع.

   تعدُّ عملية قص جبهة العمل من أصعب العمليات، وتحتاج إلى كمية ماء كبيرة ولكننّا نستطيع تعويض ذلك إذا حققنا دورية أكثر لعدد الانهيارات، كما يمكن زيادة الإنتاجية في ضخ المياه بآبار شاقولية أمام المناطق التـــي نقوم بجرفها تحت ضغط 0.7 MPa (الشكل 5-8).
3. يمكن تسهيل عملية الحفر بوساطة مدافع الماء بزيادة رطوبة التربة وخاصة في الترب ذات المسامات الهوائية.
4. بالنسبة للترب الثقيلة نقوم بالخلخلة أولاً بوساطة البلدوزر أو التفجير ثمّ بعد ذلك نحفر التربة بالماء.
5. يستخدم الحفر الجبهي بشكل واسع عند حفر الترب الثقيلة والمتماسكة، وكلّما ازداد بُعد مدفع الماء عن جبهة العمل تقلُّ فعالية الحفر لذا. يحدّد البعد الأعظمي لدفع الماء عن سطح جبهة العمل بالعلاقة (5-6):

$$L_{max} = (0.2 - 0.4)P \quad (6\text{-}5)$$

حيث:

p: الدفع المائي بضغط أصغر من 0.8 MPa، وتكون القوة الأعظمية لشدة تيار الماء المندفع على مسافة (3 - 4)m من فوهة المدفع لهذا يفضّل استخدام الدفع عن قرب ويجب أن لا تقل جبهة العمل عن 3m.



a- عمل أجهزة الجرف العائمة، b- إنشاء الردميات

1- جهاز الجرف	2- عوامة مزودة بمحطة ضخ	3- أوتاد تثبيت
4- أنبوب ضخ عائم	5- أنبوب ضخ مرفوع عن سطح الأرض	6- حاجز ترابي
7- مكان توزيع التربة	8- قنوات تصريف الماء	9- حفر تجميع الماء
11, 10- أنابيب توزيع الخليطة الطينية	13, 12- أنابيب توزيع	15, 14- مستويي الردم الأول والثاني

الشكل 5-8: تنفيذ الأعمال الترابية بوساطة أجهزة تجريف التربة من تحت الماء لإنشاء الردميات

وحرصاً على مراعاة أمن العمل تحدد المسافة العظمى لاقتراب مدفع الماء من الوجه الجبهي من المتراجحة:

$$L_{min} > \varphi \cdot h \qquad (7-5)$$

حيث:

h: ارتفاع جبهة العمل (m).

φ: تختلف قيمتها حسب التوجيه:

يـــدوي: $\varphi = 0.8 - 1.2$

نصف آلي: $\varphi = 0.5$

آلـــي: $\varphi = 0.3$

إلا أنّه من مساوئ هذه الطريقة هو: بقاء أجزاء من التربة غير محفورة مما يتطلّب معالجة لاحقة بوساطة البلدوزر.

ب- الحفر التراجعي:

1. يكون اتجاه الماء مع اتجاه تصريف الخليطة الطينية، وتكون مدافع الماء متوضّعة على السطح العلوي لحافة الميول.
2. نقوم بحفر قناة محورية بوساطة تيار الماء لتصريف الخليطة الطينية، ثمّ نحفر التربة القريبة من المدفع وعلى حواف القناة المحورية.

الميزات الإيجابية لهذا الأسلوب:

1. مدافع الماء يتوضع على مكان جاف.
2. يستخدم تيار الماء للتصريف الأسرع للخليطة الطينية إلى أماكن التجميع والنقل.
3. يستخدم لحفر الترب الرملية الهشّة والترب الغضارية الطرية.

الميزات السلبية لهذا الأسلوب:

هو ضعف الإنتاجية الناتج عن صعوبة حفر قناة التصريف، وصعوبة تشكيل الانهيارات.

في طريقة الحفر التراجعي تكون مدافع الماء محمولة على مجنـــزرات.

ويتم نقل التربة بطريقتين:

1. نقل التربة تلقائياً: عندما تعطى ميل محددة لمجاري التصريف (تتعلق بنوعية التربة والحجم الحبـــي لهذه التربة).
2. نقل التربة بوساطة الأنابيب أو البواري تحت ضغط معين من حفر تجميع خاصة بوساطة مضخات أو دواليب ضخ، ويجب أن لا تقلّ سرعة جريان الماء الناقل للتربة عبر الأنابيب

أو بواري التصريف عن السرعة الحدية المانعة لترسب التربة من الماء الناقل لها.

2.10.5 أجهزة تجريف وضخ التربة من الماء

البنيـــة:

1. عوامل مجهّزة بمعدّات تجريف وخلخلة للتربة.
2. مضخة للماء الناقل للتربة على سطح العوامة.
3. أنبوب متصّل باليابسة.
4. أوتاد ومراسي لتثبيت المجموعة أثناء تنفيذ الأعمال، ويمكن استخدام هذه الأجهزة في الحالتين التاليتين:
   1. تعزيل قعر المجمّعات المائية وتوسيعها.
   2. تنفيذ الردميّات.

1. تعزيل قعر المجمعات المائية وتوسيعها:

عن طريق تجريف وضخ الخليطة الطينية على مساحة محددة تحت الماء تحت ضغط معين بوساطة الأنابيب إلى مناطق التصريف حيث ينغرس جهاز التجريف لمنسوب معين في قعر المجمع المائي وبعد بدء العمل يتحرك الجهاز إلى الخلف وإلى الأمام كما يتحرك على الجوانب لتوسيع جبهة العمل.

إنتاجية هذه الأجهزة كبيرة جداً تصل إلى $150\ m^3 / h$ وقدرة نقل التربة بالماء تصل إلى مسافة نقل 3.5 km.

2. تنفيذ الردميات:

وذلك من خلال ترسيب التربة من الماء الحامل لها عندما تصبح سرعة الماء لا تتجاوز 0.03 - 0.3 cm / sec، حيث يتم تنفيذ الردمية على طبقات سماكتها (0.5-2) m وقبل البدء بتنفيذ الردمية، يجب أن نحيط الموقع بمساتر ترابية بوساطة البلدوزر.

إذا كان موقع تنفيذ الردمية غير مستوي فإنّنا نقوم بترسيب التربة في المناطق المنخفضة أولاً، وعندما يزيد ارتفاع الردمية عن 5m نقوم بتنفيذ الردميّة على مراحل.

عندما يكون ارتفاع طبقة الترسيب لا يزيد عن 2m نقوم بتنفيذ الأساسات اللازمة

وشبكات التخديم قبل وقت كاف، ومن أجل استمرار العمل عند تنفيذ الردميّات على شكل قطاعات نقوم بمد شبكات التخديم في قطاع معين في الوقت الذي نقوم به بعملية الترسيب في قطاع آخر انتهت به أعمال مد هذه الشبكات، ومن أجل تصريف المياه نقوم بتزويد هذه القطاعات بآبار تصريف تمر عبر أنابيب إلى خارج مكان الردميّة.

الفصل السادس

قواعد التصميم الأمثل لتشكيل طواقم آليات الأعمال الترابية

1.6 مقدمة

تعتمد طرق تصميم مجموعات عمل الآليات على اختيار الحل الأفضل من بين عدة حلول مطروحة، وذلك بالاعتماد على معايير تكنولوجية واقتصادية تعطي أفضل المؤشرات التقنية – الاقتصادية.

يتأثّر قرار اختيار الآلية أو طاقم العمل لتنفيذ الأعمال الترابية بعدة عوامل نميّز منها:

1. الزمن المحدد للتنفيذ.
2. حجم العمل.
3. عدد المنشآت المبنيّة.
4. الشروط الهندسية والجيولوجية.
5. عناصر التصميم.
6. الآليات المتوفرة.

يتطلب اختيار طاقم العمل الأمثلي المعرفة الكاملة بالشروط التقنية والاستثمارية، ويتطلّب تقييم الخيارات المقترحة تحليل بعض العناصر التقنية – الاقتصادية مثل:

1. إنتاجية العمل.
2. كلفة العمل.
3. زمن العمل.
4. الاستفادة من زمن العمل.
5. طريقة إدارة العمل.

إنّ ازدياد عدد الآليات المتوفّرة يؤدي إلى زيادة الخيارات، وبالتالي تكون عملية المقارنة طويلة ومجهدة، لذا يتم الاتجاه إلى استخدام الطرق الرياضية من أجل تحديد الخيار الأفضل.

تتألف عملية الإنتاج من مجموعة من العمليات المرتبطة مع بعضها البعض زمنياً ومكانياً، وتتم بعض هذه العمليات بشكل مستمر أو بشكل دوري.

وتشكل عملية التنظيم والتخطيط الأمثلي للآليات التـي تقوم بهذه العمليات عمل معقد، حيث يهدف إلى اختيار مجموعة العمل الأمثلية من بين عدة خيارات.

تحلّ عادة مشكلة اختيار طريقة تنفيذ الأعمال الترابية وتحديد طواقم العمل الأمثلية باختيار العدد الأمثلي لوسائل النقل المخدّمة (القلابات) لآلية الحفر، بحيث يتمّ تخديم هذه الحفارة بشكل مستمر يؤمن استمرارية حركة الآليات، والإقلال من توقفها وهذا ما يؤدي إلى تخفيض كلف عمل النظام ككل، يمكن حساب العدد اللازم من آليات النقل (القلابات) لتخديم الحفارة من العلاقة (6-1):

$$N = \frac{t}{t_Z} \qquad (1\text{-}6)$$

حيث:

N: عدد وسائل النقل (القلابات).

t: متوسط الزمن الفاصل بين ورود قلابين.

tz: متوسط زمن تحميل وسيلة النقل + زمن المناورة.

وتعتبر العلاقة السابقة أن:

- وصول الآليات يتم بشكل ثابت (t).
- زمن تحميل القلاب ثابت.
- زمن المناورة ثابت.

ونبين فيما يلي ثلاث قواعد لتصميم طواقم الآليات للأعمال الترابية.

2.6 قواعد تصميم طواقم الآليات باستخدام نظرية الأرتال

تعتبر هذه الطريقة بإنّ توارد وسائل النقل يتم بشكل عشوائي، وتتم خدمتها أيضاً بشكل عشوائي، وتضطر أحياناً الحفارة إلى التوقف عن العمل إذا تباطئت وسائل النقل في الطريق،

وتضطر أيضاً وسائل النقل (القلابات) إلى الانتظار في حال قدومها أثناء تحميل آلية نقل أخرى.

إنَّ الطبيعة العشوائية لهذه الأنظمة تجعل من الصعب صياغتها بشكل رياضي، لذا يلجأ عادة إلى ما يسمى بحوث العمليات (Operations Research) ونظرية الأرتال (Queueing theory)، وذلك بهدف وصف وتحليل الأرتال ومحاولة إيجاد الحلول لها وحلها وإيجاد الشكل الأمثلي لنظام الخدمة فيها على الأماكن التـــي يمكن أن تظهر فيها الأرتال، وذلك بهدف التنظيم الجيد للعمل عن طريق زيادة فعالية أنظمة الخدمة، وتستخدم هذه النظرية عند حل مشاكل الإنتاج والتـــي لا نستطيع فيها تحديد العلاقة بين وصول الحوادث وبين زمن خدمتها، مثال: عدد آليات النقل (القلاّبات) التـــي تخدم الحفّارة.

بهدف الوصف الدقيق لأنظمة نظرية الأرتال، يجب توافر معلومات عن العناصر التالية:

I- عملية الظهورات:

تعدُّ من الصفات الأساسية للنظام، ويمكن أن تتم بشكل منتظم (ثابت)، أو بشكل عشوائي، ويمكن أن تكون بشكل منفرد أو جماعي.

II- سلوك الآليات:

تتلّخص بالأشكال التالية:

1- يمكن للآلية أن تستغنـــي فوراً عن الخدمة.

2- الآلية يمكن أن تستغنـــي عن الخدمة بعد فترة من الانتظار.

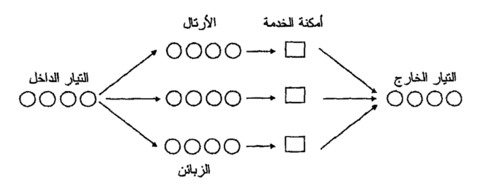
3- الآلية تنتظر في الطابور، مهما طالت الفترة.

في حال انتظار الآليات للخدمة تظهر هنا الحاجة لمعلومات عن شكل خدمة الأرتال:

- FIFO (First in-First out): الواصل أولاً يُخْدَم أولاً.
- LIFO (Last in-First out): الواصل آخراً يُخْدَم أولاً.
- SIRO (Service in Random Order): الخدمة بشكل عشوائي.

III- عدد الأرتال وطبيعة الخدمة:

يمكن أن تتم في مكان محدّد، أو في عدة أمكنة. طول الرتل يمكن أن يكون متغيراً. وكما أن زمن الخدمة يمكن أن يكون مختلفاً، فيمكن لرتل واحد أن يُخدم في عدة أماكن (الشكل 6-1).



الشكل 6-1: مخطط يوضح أنظمة الأرتال

يجب أن تتوفّر المعلومات عمّا يلي:

- غزارة الظهور (α) عدد الظهورات في واحدة الزمن.
- غزارة الخدمة (μ) عدد الآليات المخدمة في واحدة الزمن.

يختلف نظام الطوابير، وفق العلاقة بين العاملين λ وμ.

$\rho = \lambda / \mu$ عامل الاستفادة من الخدمة

فعندما $\rho < 1$: نظام الخدمة جيد.

عندما تقترب ρ من الواحد تبدأ الأرتال بالظهور، وعندما $\rho \geq 1$ تزداد أطوال الأرتال، وتبدأ فترات الانتظار بالازدياد، ويهدف الإيضاح اقتراح Kendall رمزاً لأنظمة نظرية الأرتال يأخذ بالحسبان أربعة عناصر:

- شكل نظام الظهورات.
- شكل نظام الخدمة.
- عدد أمكنة الخدمة.
- سعة النظام.

وعبّر عمّا سبق بالعلاقة (6-2):

$$X / Y / C / N \qquad (2-6)$$

حيث:

C: عدد أمكنة الخدمة.

X: شكل نظام الظهورات.

Y: شكل نظام الخدمة

N: سعة النظام

يمكن أن نعبر عن X, Y فمثلاً M/D/1/10 تعنـــي أنّ الظهورات تتم وفق التوزيع الأسي اللوغاريتمي السالب، أما الخدمة فتتم بشكل منتظم، وهناك مكان خدمة واحد للخدمة والنظام يتسع لعشرة زبائن. وM/D/1، فهذا أن سعة النظام لا نهائية $N = \infty$.

فيما يلي نوضّح بعض العلاقات للشكل M/M/1 ولـــ $\rho < 1$، ولشكل الخدمة FIFO.

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\alpha}{\mu - \alpha} \qquad (3\text{-}6)$$

حيث:

$\bar{n}$: العدد الوسطي للآليات في النظام (المخدمة + المتبقية).

ρ: معامل الاستفادة من الخدمة.

$$\varpi = \frac{\alpha}{\mu(\mu - \alpha)} \qquad (4\text{-}6)$$

حيث:

ϖ: الزمن الوسطي للانتظار في الرتل.

$$\bar{k} = \frac{\rho^2}{1-\rho} \qquad (5\text{-}6)$$

إنّ النظام المؤلف من حفّارة ووسائل نقل نواتج الحفر يمكن أن تتواجد في $K = N + 1$ حالة

$K = 0$ الحفّارة لا تعمل جميع القلاّبات في الطريق

$K = 1$ قلاّب واحد ينتظر في الرتل و(N-1) قلاّب في الطريق

$K = 2$ قلاّبين ينتظران في الرتل و(N-2) قلاّب في الطريق

$K = N$ جميع القلابات تنتظر في الرتل

يحسب احتمال وجود K قلاب في الرتل من العلاقة (6-6):

$$P_K = \frac{N!}{(N-K)!}\left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^K \cdot P_0, \quad K = 1, 2, \ldots, N \qquad (6\text{-}6)$$

حيث:

N: عدد القلاّبات في النظام.

K: عدد القلاّبات في الرتل.

P_0: احتمال توقف الحفارة عن العمل.

$$\alpha = \frac{1}{t} \qquad (7\text{-}6)$$

$$\mu = \frac{1}{t_Z} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث:

t: متوسط الزمن الفاصل بين ورود قلابين.

t_z: متوسط زمن تحميل القلاب.

وبالتالي يكون احتمال توقف الحفارة عن العمل من العلاقة (6-9):

$$P = \frac{1}{\sum_{K=0}^{N} \frac{P_K}{P_0}} \qquad (9\text{-}6)$$

وباستخدام نظرية الأرتال يمكن تحليل الاستفادة من زمن عمل طاقم العمل، وبالتالي تحديد كلف التوقف، وهذا بالتالي يؤدي إلى اختيار عملية التخطيط المثلى لطواقم العمل، والتـــي تؤدي إلى استمرارية عمل طواقم العمل وبأقلّ كلف توقف ممكنة.

مثـــال 1:

المطلوب تصميم طاقم عمل لتنفيذ مشروع ما مؤلفة من مجرفة أمامية بسعة وعاء $q = 0.6\ m^3$ وعدد مناسب من القلاّبات بسعة $4.5\ t$، وذلك بفرض ما يلي:

1. متوسط الزمن الفاصل بين ورود قلابين $t = 40\ min$
2. متوسط زمن تحميل القلاب $t_z = 4\ min$
3. الأجرة الساعيّة لعمل المجرفة $C_K = 3.4\ \$/h$
4. الأجرة الساعيّة لعمل القلاّب $C_s = 2\ \$/h$
5. الإنتاجية العمليّة للمجرفة $Qe = 40\ m^3/h$
6. كمية العمل $P = 10000\ m^3$

الحـــل:

تعتمد طريقة تصميم طاقم العمل على إيجاد العدد الأمثلي للقلابات والذي يوفر أفضل المؤشرات الاقتصادية – التقنية ويحدد عدد القلاّبات اللازمة من العلاقة (6-10).

$$N = \frac{t}{t_Z} = \frac{40}{4} = 10 \qquad (10\text{-}6)$$

ولكي نستطيع أن نعتبر أن عدد القلابات مثالي، يجب أن نحلل نظام الإنتاج، ويتم هذا التحليل باستخدام نظرية الأرتال وفق الخطوات التالية:

- لنعتمد عدد قلاّبات N، مثلاً: N = 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12، ولنحسب لكلّ منها احتمال توقف القلاّبات والجرفة.
- بمعرفة احتمال وقوف هذه المجموعات، يمكن أن نحسب ما يسمى بكلفة التوقف الكليّة، وإنتاجية طاقم العمل المحللة ومؤشرات اقتصادية – تقنية أخرى.
- وبمعرفة قيمة هذه المؤشرات، يتم اختيار طاقم العمل الأمثلي، ونبيّن فيما يلي طريقة العمل:

$$\alpha = \frac{1}{t} = \frac{1}{40} = 0.025 \qquad (11\text{-}6)$$

$$\mu = \frac{1}{t_Z} = \frac{1}{4} = 0.25 \qquad (12\text{-}6)$$

$$\alpha = \frac{0.025}{0.25} = 0.1 \qquad (13\text{-}6)$$

ونحسب نقلاً من N = 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 و K = 0, 1, 2, ..., N النسبة $\frac{P_K}{P_0}$ من العلاقة (6-14):

$$\frac{P_K}{P_0} = \frac{N!}{(N-K)!}\left(\frac{\alpha}{\mu}\right) \qquad (14\text{-}6)$$

وتبين الجداول من (6-1) وحتـــى (6-8) نتائج الحساب.

ونتمكن بمعرفة احتمال توقف عمل الجرفة والقلاّبات من حساب كلفة توقف طاقم العمل من العلاقة (6-15):

$$C_Z = C_K\,P_0 + N\,C_S\,P_S \ \text{\$/وردية} \qquad (15\text{-}6)$$

حيث:

C_Z: زمن توقف مجموعة العمل وردية/$.

C_K: الأجرة الساعيّة لعمل الحرفة وردية/$.

N: عدد القلاّبات في مجموعة العمل.

C_S: الأجرة الساعيّة لعمل القلاّب وردية/$.

P_S: احتمال توقف قلاّب واحد.

الجدول 6-1: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 5

K	K − 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	$P_K(K-1)$
0	-	1.000	0.564	-
1	0	0.500	0.282	0
2	1	0.200	0.113	0.113
3	2	0.060	0.034	0.068
4	3	0.012	0.007	0.021
5	4	0.001	0.000	-
		1.773	1.000	0.202
$P_S = \frac{0.202}{5} = 0.405$		$P_0 = \frac{1}{1.773} = 0.546$		

الجدول 6-2: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 6

K	K − 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	$P_K(K-1)$
0	-	1.000	0.485	-
1	0	0.600	0.291	0.145
2	1	0.300	0.145	0.116
3	2	0.120	0.058	0.051
4	3	0.036	0.017	0.012
5	4	0.007	0.003	-
6	5	-	-	-
$P_S = \frac{0.324}{6} = 0.054$		$P_0 = \frac{1}{2.063} = 0.485$		

الجدول 6-3: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 7

K	K – 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	$P_K (K - 1)$
0	-	1.500	0.409	-
1	0	0.700	0.286	0
2	1	0.420	0.172	0.172
3	2	0.210	0.086	0.172
4	3	0.084	0.034	0.102
5	4	0.025	0.010	0.040
6	5	0.005	0.002	0.010
7	6	0.000	0.999	-
		2.444	0.999	0.496
$P_S = \frac{0.496}{7} = 0.071$		$P_0 = \frac{1}{2.444} = 0.409$		

الجدول 6-4: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 8

K	K – 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	PK (K – 1)
0	-	1.000	0.338	-
1	0	0.800	0.270	-
2	1	0.560	0.189	0.189
3	2	0.336	0.113	0.226
4	3	0.169	0.057	0.171
5	4	0.067	0.022	0.088
6	5	0.020	0.007	0.035
7	6	0.004	-	-
8	7	-	-	-
		2.956	0.996	0.709
$P_S = \frac{0.709}{8} = 0.088$		$P_0 = \frac{1}{2.956} = 0.338$		

الجدول 6-5: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 9

K	K – 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	PK (K – 1)
0	-	1.000	0.273	-
1	0	0.900	0.245	0
2	1	0.720	0.196	0.196
3	2	0.504	0.137	0.274
4	3	0.302	0.080	0.240
5	4	0.151	0.041	0.164
6	5	0.060	0.016	0.080
7	6	0.018	0.004	0.024
8	7	0.003	0.000	-
9	8	0.000	-	-
		3.658	0.992	0.978
$P_S = \frac{0.978}{9} = 0.108$		$P_0 = \frac{1}{3.658} = 0.273$		

الجدول 6-6: احتمالات حدوث حالات النظام لـ N = 10

K	**K – 1**	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	**PK (K – 1)**
0	-	1.000	0.215	-
1	0	1.000	0.215	0
2	1	0.900	0.193	0.193
3	2	0.720	0.154	0.308
4	3	0.504	0.108	0.324
5	4	0.302	0.064	0.256
6	5	0.151	0.032	0.160
7	6	0.060	0.012	0.072
8	7	0.018	0.003	0.021
9	8	0.004	0.000	0.000
10	9	0.000	-	-
		4.650	0.996	1.334
$P_S = \frac{1.334}{10} = 0.133$		$P_0 = \frac{1}{4.650} = 0.215$		

الجدول 6-7: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 11

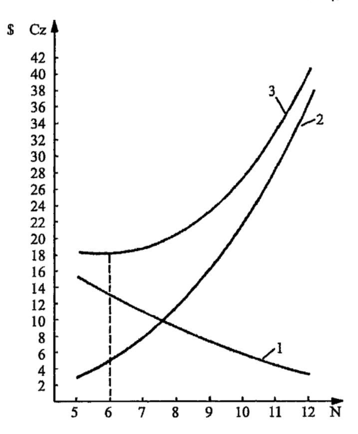
K	K – 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	PK (K – 1)
0	-	1.000	0.164	-
1	0	1.100	0.180	0
2	1	1.100	0.180	0.180
3	2	0.990	0.162	0.324
4	3	0.792	0.129	0.387
5	4	0.554	0.091	0.364
6	5	0.332	0.054	0.270
7	6	0.166	0.027	0.162
8	7	0.046	0.007	0.049
9	8	0.014	0.002	0.015
10	9	0.003	0.000	0.000
11	10	0.000	-	-
		6.097	0.996	1.756
$P_S = \frac{1.756}{11} = 0.159$		$P_0 = \frac{1}{6.097} = 0.164$		

الجدول 6-8: احتمال حدوث حالات النظام لـ N = 12

K	K – 1	$\frac{P_K}{P_0}$	P_K	PK (K – 1)
0	-	1.000	0.119	-
1	0	1.200	0.142	0
2	1	1.320	0.157	0.157
3	2	1.320	0.157	0.314
4	3	1.188	0.141	0.423
5	4	0.950	0.113	0.452
6	5	0.665	0.079	0.395
7	6	0.399	0.047	0.282
8	7	0.199	0.023	0.161
9	8	0.079	0.009	0.072
10	9	0.023	0.002	0.018
11	10	0.004	0.000	0.000
12	11	0.000	-	-
		8.347	0.989	2.247
$P_S = \frac{2.247}{12} = 0.189$		$P_0 = \frac{1}{8.347} = 0.119$		

ويبين (الجدول 6-9) حساب كلف توقّف طواقم العمل تبعاً لعدد وسائل النقل (القلابات) كما يوضّحها (الشكل 6-2) بيانياً.

من تحليل النتائج الموضّحة في الجدول، والشكل نجد بأنّ كلفة التوقف الأصغرية تقابل عدد قلابات $N = 6$ وبالتالي، فإنّ طاقم العمل الأمثلي حسب كلفة التوقف الأصغرية يتألف من محرفة وستة قلابات.



1- كلف توقف المجرفة، 2- كلف توقف القلاّب، 3- كلف توقف مجموعة العمل

الشكل 6-2: العلاقة بين كلف التوقف وعدد القلاّبات

ويمكن تصميم مجموعة العمل بشكل آخر عن طريق حساب كلفة واحدة الإنتاج من العلاقة (6-16):

$$C_J = \frac{C_K + N C_S}{Q_e \cdot e_Z} \ \$/m^3 \qquad (16\text{-}6)$$

حيث:

C_K: الأجرة الساعية لعمل الجرفة $.

C_S: الأجرة الساعية لعمل وسيلة النقل (القلاّب) $/h.

N: عدد وسائل النقل.

Q_e: الإنتاجية العملية للمجرفة m^3 / h.

e_z: معامل الاستفادة من زمن العمل من قبل طاقم العمل.

$$e_z = 1 - P_0 \qquad (17\text{-}6)$$

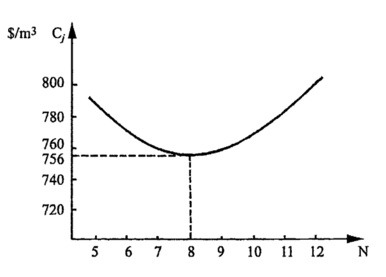
حيث:

P_0: احتمال توقف الجرفة

الجدول 6-9: كلف توقف طواقم العمل

الكلف الكلية لتوقف مجموعة العمل دولار/ وردّية	كلف التوقف دولار/ وردية			كلفة العمل دولار/ وردية		احتمال التوقف		عدد القلاّبات N
	N قلاّب	قلاّب واحد	للمجرفة	القلاّب	الحفّارة	للقلاّبات P_s	للمجرفة P_e	
18.61	3.30	0.66	15.34	8 * 2.08 = 16.64	8 * 3.4 = 27.2	0.040	0.564	5
18.58	5.40	0.90	13.20			0.054	0.485	6
19.40	413.49	1.18	11.12			0.071	0.409	7
20.91	8.30	1.46	9.20			0.088	0.338	8
23.60	16.17	1.80	7.43			0.108	0.273	9
28.00	22.13	2.21	5.45			0.133	0.215	10
33.60	29.10	2.65	4.46			0.159	0.164	11
41.00	37.74	3.14	3.24			0.183	0.119	12

ويوضّح (الجدول 6-10) حساب كلف توقف طواقم العمل تبعاً لعدد وسائل النقل (القلابات) كما يوضّحه (الشكل 6-3) بشكل بيانـــي.



الشكل 6-3: العلاقة بين كلف واحدات الإنتاج وعدد القلاّبات

الجدول 6-10: كلف واحدات الإنتاج

عدد القلابات N	$e_z = 1 - P_0$	$Q_{ez} = Q_e\, e_z$	$C_K + N\, C_z$	C_j
5	0.536	17.44	13.80	0.79
6	0.155	20.60	15.88	0.77
7	0.591	23.64	17.96	0.76
8	0.662	26.40	20.04	0.75
9	0.727	29.08	22.12	0.76
10	0.785	31.40	24.20	0.77
11	0.836	33.44	26.80	0.78
12	0.881	35.24	28.36	0.80

ومن تحليل النتائج الموضّحة في (الجدول 6-9) و(الشكل 6-2) نجد بأنّ كلفة واحدة الإنتاج الأصغرية تقابل عدد القلابات N = 6 وبالتالي فإنّ طاقم العمل الأمثلي حسب كلفة واحدة الإنتاج يتألف من مجرفة وثمانية قلاّبات.

وبمعرفة كلف واحدات الإنتاج وإنتاجية العمل يمكن حساب لكلّ طاقم عمل (مجرفة + قلاّبات) الكلف المباشرة وزمن التنفيذ من العلاقات التالية:

$$K_b = C_j \cdot P \quad \$ \qquad (18\text{-}6)$$

حيث:

K_b: الكلف المباشرة $

C_j: كلفة واحدة الإنتاج $/m³

P: كمية الإنتاج (العمل) m³

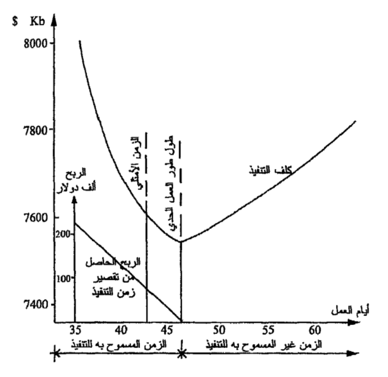
$$T = \frac{P}{8Q_{ez}} \qquad (19\text{-}6)$$

حيث:

T: زمن التنفيذ (وردية)

Q_{ez}: الإنتاجية العملية لمجموعة العمل m³/h

ويوضّح (الجدول 6-11) حساب الكلف المباشرة وزمن التنفيذ، كما يوضّح (الشكل 6-4) العلاقة بين الكلف المباشرة وزمن التنفيذ.



الشكل 6-4: العلاقة بين الكلف المباشرة وزمن التنفيذ

وبالتالي نسمّي الزمن الذي تكون عنده الكلف أصغرية بالزمن الحدي لاستمرار دورة

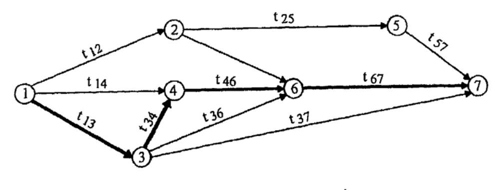
الإنتاج (العمل)، وبالتالي فإنّ أي زيادة في زمن التنفيذ عن الزمن الحدي تؤدي إلى زيادة في التكاليف المباشرة.

الجدول 6-11: الكلف وزمن التنفيذ

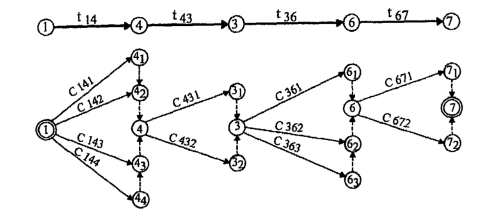
عدد القلاّبات N	إنتاجية مجموعة العمل $Q_{ez} = Q_e e_z$	كلف واحدة الإنتاج Ci	الكلف المباشرة Kb	زمن التنفيذ T
5	17.44	0.80	7.91	71.67
6	20.60	0.77	7.71	60.67
7	23.64	0.76	7.60	52.87
8	26.48	0.75	7.56	47.20
9	29.08	0.76	7.61	42.98
10	31.40	0.77	7.71	39.80
11	33.44	0.79	7.86	37.38
12	35.24	0.80	8.05	35.47

3.6 قواعد تصميم طواقم الآليات باستخدام طريقة التخطيط الشبكي

تستخدم طريقة التخطيط الشبكي بشكل كبير في عملية التصميم الأمثلي لطواقم الآلّيات التـــي تقوم بتنفيذ عمليات المشروع المختلفة، حيث تبدأ عملية التصميم هذه بعد رسم المخطط الشبكي وإيجاد مساره الحرج (الشكل 6-5) وتتحقّق فعالية إنجاز العمل بإيجاد طاقم الآليات الأمثلي المناسب لتنفيذ العمليات الواقعة على المسار الحرج، يفترض عادة وجود عدة إمكانيات لطواقم آليات مختلفة للقيام بتنفيذ عملية ما مفروضة حيث يمكن تمثيل ذلك على (الشكل 6-6).



الشكل 6-5: المخطط الشبكي والمسار الحرج



الشكل 6-6: المسار الحرج واحتمالات التنفيذ

ويقابل كلّ مسار من المخطط الشبكي الموضّح في (الشكل 6-6) كلفة معينة. وتعتمد طريقة التصميم على إيجاد المسار الأقصر والمقابل لأفضل طاقم عمل، وبكلفة مالية أصغرية.

ويتم ذلك بتحليل المخطط الشبكي وبالاتجاهين كما يلي:

1- يبدأ التحليل من حادثة البدء بالمشروع ① وباتجاه الحوادث التالية، وباتباع المسار الأقصر حسب العلاقة (6-20):

$$C_j = \min (C_i + C_{ij}) \quad \$/m3 \qquad (20\text{-}6)$$
$$j = 1, 2, ..., n$$

حيث:

Cj: المسار الأقصر المؤدي إلى الحادثة j والمقابل للكلفة الأصغرية لتنفيذ العملية

التكنولوجية ij.

Ci: المسار الأقصر المؤدي إلى الحادثة i والمقابل للكلفة الأصغرية لتنفيذ جميع العمليات السابقة للعملية المفروضة ij والواقعة على هذا المسار.

Cij: كلفة واحدة الإنتاج للعملية المفروضة ij، وذلك باستخدام طاقم العمل المناسب.

n: رقم الحادثة النهائية.

2- نعيد التحليل من حادثة النهاية للمشروع حسب العلاقة (6-21):

$$C_i = \max (C_j - C_{ij}) \quad \$/m3 \qquad (21\text{-}6)$$
$$i = 1, 2, ..., n$$

وعندما تتساوى الكلفة لحادثة ما من الاتجاهين عندها تكون هذه الحادثة على المسار الأقصر. وهذا يعنـــي بأنّ إيجاد المسار الأقصر يقابل طاقم العمل الأمثلي ذو كلفة التنفيذ الأصغرية.

ونوضّح فيما يلي مثالاً تطبيقياً يوضّح طريقة استخدام التخطيط الشبكي في اختيار طاقم الآليات الأمثلي والمقابل لكلف التنفيذ الأصغرية.

مثـــال 2:

المطلوب تحديد طاقم الآليات الأمثلي لتنفيذ أعمال ترابية مؤلّفة من حفر وردم بافتراض أنّ وزن التنفيذ وكمية العمل معلومان.

الحـــل:

يمكن تقسيم العمل إلى العمليات التالية:

1- حفر التربة.

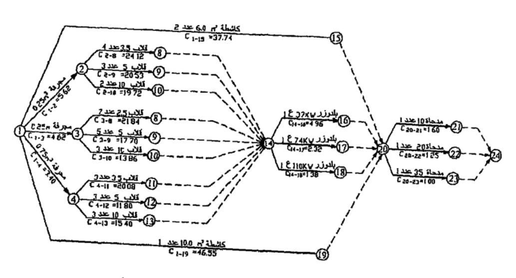
2- نقل التربة.

3- فرش الردمية.

4- رصّ الردمية.

وبفرض أنّه يتوفر للمنفذ عدد كبير ومتنوع من الآليات والقادرة على تنفيذ هذا النوع من الأعمال، ويبين الجدول (6-12) الخيارات المتوفرة لدى المنفّذ من هذه الآليات.

كما يبيّن الشكل (6-7) المخطط الشبكي لتنفيذ الأعمال باحتمالات مختلفة.



الشكل 6-7: المخطّط الشبكي لتصميم طاقم الآليات الأمثلي

الجدول 6-12: الخيارات المتوفرة لتنفيذ أعمال المشروع

نوع آلية الحفر	نقل التربة	فرش الردمية	رص الردمية
1	2	3	4
مجرفة بسعة وعاء $q = 0.25\ m^3$ $C = 5.62\ \$/m^3$	قلّابات بحمولة 3.5 t عدد 4 $C = 24.12\ \$/m^3$	بلدوزر باستطاعة محرك 1 عدد 37 kW $C = 4.96\ \$/m^3$	مدحاة بإنتاجية 1 عدد 10 m^3/h $C = 1.60\ \$/m^3$
	قلّابات بحمولة 5 t عدد 3 $C = 20.53\ \$/m^3$		
	قلّابات بحمولة 10 t عدد 2 $C = 19.72\ \$/m^3$		
مجرفة بسعة وعاء $q = 0.50\ m^3$ $C = 4062\ \$/m^3$	قلّابات بحمولة 2.5 t عدد 7 $C = 21.84\ \$/m^3$	بلدوزر باستطاعة محرك 1 عدد 74 kW $C = 2.32\ \$/m^3$	مدحاة بإنتاجية 1 عدد 20 m^3/h $C = 1.25\ \$/m^3$
	قلّابات بحمولة 5 t عدد 5 $C = 17.70\ \$/m^3$		
	قلّابات بحمولة 10 t عدد 3 $C = 13.86\ \$/m^3$		

الجدول 6-12: تابـــع

مدحاة بإنتاجية 35 m^3/h عدد 1 $C = 1.00\ \$/m^3$	بلدوزر باستطاعة محرك 110 kW عدد 1 $C = 1.38\ \$/m^3$	قلاّبات بحمولة 3.5 t عدد 10 $C = 20.08\ \$/m^3$	مجرفة بسعة وعاء $q = 0.75\ m^3$ $C = 3.40\ \$/m^3$
		قلاّبات بحمولة 5 t عدد 7 $C = 11.80\ \$/m^3$	
		قلاّبات بحمولة 10 t عدد 5 $C = 15.40\ \$/m^3$	
			كاشطة بسعة وعاء 10 m^3 عدد 1 $C = 46.55\ \$/m^3$
			كاشطة بسعة وعاء 6 m^3 عدد 2 $C = 37.74\ \$/m^3$

وبالاعتماد على العلاقات (6-20) و(6-21) نوضّح فيما يلي تحليل المخطّط الشبكي بالاتجاهين:

1- ابتداءاً من الحادثة البدائية للمشروع ①:

$$C_j = \min (C_i + C_{ij}) \qquad \$/m^3 \qquad i, j = 1, 2, ..., n$$

$C_1 = 0$

$C_2 = 5.62$

$C_3 = 4.26$

$C_4 = 3.40$

$C_5 = 5.62 + 24.12 = 29.74$

$C_6 = 5.62 + 20.53 = 26.15$

$C_7 = 5.62 + 19.72 = 25.34$

$C_8 = 4.62 + 21.84 = 26.46$

$C_9 = 4.62 + 17.70 = 22.32$

$C_{10} = 4.62 + 13.86 = 18.48$

$C_{11} = 3.40 + 20.08 = 23.48$

$C_{12} = 3.40 + 11.80 = 15.20$

$C_{13} = 3.40 + 15.40 = 18.20$

$$C_{14} = \min\begin{Bmatrix} C_5 + 0 \\ C_6 + 0 \\ C_7 + 0 \\ C_8 + 0 \\ C_9 + 0 \\ C_{10} + 0 \\ C_{11} + 0 \\ C_{12} + 0 \\ C_{13} + 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 29.74 \\ 26.15 \\ 25.34 \\ 16.45 \\ 22.32 \\ 18.48 \\ 23.48 \\ 15.20 \\ 18.80 \end{Bmatrix} = 15.20$$

$C_{15} = C_1 + 37.74 = 0 + 37.74 = 37.74$

$C_{16} = C_{14} + 4.96 = 15.20 + 4.96 = 20.15$

$C_{17} = C_{14} + 2.32 = 15.20 + 2.32 = 17.52$

$C_{18} = C_{14} + 1.38 = 15.20 + 1.38 = 16.58$

$C_{19} = C_1 + 46.55 = 0 + 46.53 = 46\ 53$

$$C_{20} = \min\begin{Bmatrix} C_{15} + 0 \\ C_{16} + 0 \\ C_{17} + 0 \\ C_{18} + 0 \\ C_{19} + 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 37.74 \\ 20.15 \\ 17.52 \\ 16.58 \\ 46.55 \end{Bmatrix} = 16.58$$

$C_{21} = C_{20} + 1.60 = 16.58 + 1.60 = 18.18$

$C_{22} = C_{20} + 1.25 = 16.58 + 1.25 = 17.83$

$C_{23} = C_{20} + 1.00 = 16.58 + 1.00 = 17.58$

$$C_{24} = \min\begin{Bmatrix} C_{21} + 0 \\ C_{22} + 0 \\ C_{23} + 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 18.18 \\ 17.83 \\ 17.58 \end{Bmatrix} = 17.58$$

2- رجوعاً من الحادثة النهاية (24):

$C_i = \max (C_j - C_{ij})$ $/m^3$ $j, i = 2, ..., n - 1,$

$C_{24} = 17.58$

$C_{23} = C_{24} - 0 = 17.58$

$C_{22} = C_{24} - 0 = 17.58$

$C_{21} = C_{24} - 0 = 17.58$

$$C_{20}=\max\left\{\begin{matrix}C_{23}-1.00\\C_{22}-1.25\\C_{21}-1.60\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}17.58-1.00\\17.58-1.25\\17.58-1.60\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}16.58\\16.33\\15.98\end{matrix}\right\}=16.58$$

$C_{19}=C_{20}-0=16.58$

$C_{18}=C_{20}-0=16.58$

$C_{17}=C_{20}-0=16.58$

$C_{16}=C_{20}-0=16.58$

$C_{15}=C_{20}-0=16.58$

$$C_{14}=\max\left\{\begin{matrix}C_{16}-4.96\\C_{17}-2.32\\C_{18}-1.30\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}16.58-4.96\\16.58-2.32\\16.58-1.38\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}11.62\\14.26\\15.20\end{matrix}\right\}=15.20$$

$C_5=C_{14}-0=15.20$

$C_6=C_{14}-0=15.20$

$C_7=C_{14}-0=15.20$

$C_8=C_{14}-0=15.20$

$C_9=C_{14}-0=15.20$

$C_{10}=C_{14}-0=15.20$

$C_{11}=C_{14}-0=15.20$

$C_{12}=C_{14}-0=15.20$

$C_{13}=C_{14}-0=15.20$

$$C_2=\max\left\{\begin{matrix}C_5-24.12\\C_6-20.53\\C_7-19.72\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}15.20-24.12\\15.20-20.53\\15.20-19.72\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}-8.92\\-5.33\\-4.52\end{matrix}\right\}=-4.52$$

$$C_3=\max\left\{\begin{matrix}C_8-21.84\\C_9-17.70\\C_{10}-13.86\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}15.20-21.84\\15.20-17.70\\15.20-13.86\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}-6.64\\-2.50\\-1.34\end{matrix}\right\}=-1.94$$

$$C_4=\max\left\{\begin{matrix}C_{11}-20.08\\C_{12}-11.80\\C_{13}-15.40\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}15.20-20.08\\15.20-11.80\\15.20-15.40\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}-4.88\\+3.40\\-0.20\end{matrix}\right\}=+3.40$$

$$C_1 = \max\begin{Bmatrix} C_{15} - 37.74 \\ C_{19} - 46.55 \\ C_2 - 5.62 \\ C_3 - 4.62 \\ C_4 - 3.40 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 16.58 - 39.74 \\ 16.58 - 46.55 \\ -4.52 - 5.62 \\ 1.34 - 4.62 \\ 3.40 - 3.40 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -21.56 \\ -29.97 \\ -10.14 \\ -3.28 \\ 0 \end{Bmatrix} = 0$$

ونستنتج بأنّ الحوادث المشكّلة للمسار الحرج هي:

1, 4, 12, 14, 18, 20, 23, 24

وبالتالي فإنّ طاقم الآليات الأمثلي المناسب لتنفيذ الأعمال المبيّنة في المشروع هو التالي:

- مجرفة بسعة وعاء $0.75\ m^3$.
- قلاب بسعة 7 t عدد 7.
- بلدوزر بمحرك 74 kW.
- مدحاة بإنتاجية $35\ m^3/h$.

سعر واحدة العمل لطاقم الآليات المختار الأمثلي هي:

$17.58\ \$/m^3$

4.6 قواعد تصميم الآليات حسب نوع التربة والمسافة المتوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم

1.4.6 مقدمــة

عند اختيار الآليات اللازمة لتنفيذ الأعمال الترابية باتباع المكننة المتكاملة من الضروري مراعاة الشروط التالية:

1. يجب أن يكون عدد الآليات المشاركة في العملية التكنولوجية أصغرياً، ويجب أن تتناسب متحولاتها بشكل كامل مع ظروف العمل ومع مواصفات وحجوم المنشأة المنفذة من بين مجموعة الآليات المستخدمة يجب اختيار آلية واحدة أو عدة آليات رئيسة حيث تحدد هذه الآلية تنظيم العمل لكامل طاقم الآليات كما تحدّد الإنتاجية وسير العمل.

2. يجب أن يكون تكوين مجموعة الآليات بشكل يكون فيه جدول نقل التربة من مكان استخراجها إلى مكان ردمها مستمر وبشكل متواصل دون انقطاع.
3. إنتاجية كل آلية من مجموعة الآليات يجب أن تؤمّن أعلى فاعلية عمل للآلية أو للآليات الرئيسة وإن عدم مراعاة هذا الشرط يؤدي إلى انخفاض إنتاجية كامل طاقم الآليات وذلك للعلاقة الوثيقة لعمل الآليات الثانوية مع الآليّة الرئيسة، وبالتالي يكون عمل الطاقم غير اقتصادي.

إنّ أهم العوامل التــي تحكم في انتقاء الآليات اللازمة لورشة من ورشات الأعمال الترابية هي:

1. نوع التربة وقساوتها (صعوبة التعامل معها).
2. المسافة المتوسطة بين مركزي ثقل الحفر والردم.

2.4.6 التربة قاسية جداً

حيث تحتاج هذه التربة للتفجير:

آ– المسافة بين مكان الحفر والردم من $0 \rightarrow 100\ m$:

يتألف طاقم الآليات من:

1. آليّات تفجير بالديناميت.
2. بلدوزر لدفع نتائج الحفر إلى مكان الردم. ذلك لأنّ المسافة العظمى لدفع التربة بواسطة البلدوزر هي 100 m.
3. آلية رص ساكنة وتفضَّل المدحلة الساكنة الرجاجة.

ب– المسافة تزيد عن 100 m وحتــى عدة كيلومترات:

يتألف طاقم الآليات من:

1. آليات التفجير.
2. بلدوزر لتكويم نتائج الحفر.
3. تركس بجترر أو على دواليب لتحميل التربة المفكّكة إلى مكان الردم.
4. بلدوزر في مكان الردم لفرش الطبقات المردومة.
5. مدحلة رجّاجة ذاتية الحركة أو مقطورة.

3.4.6 التربة نصف قاسية وقابلة للحفر بواسطة الريبـــر

آ– المسافة ما بين 0 و 100 m.

يتألف طاقم الآليات من:

1. بلدوزر مجنـــزر بزند ريبـــر.
2. مدحلة رجّاجة.

حيث يقوم زند الريبر بحفر الصخور – وشفرة البلدوزر تدفع التربة الناتجة إلى مكان الردم. ثم تقوم مدحلة رجّاجة برص التربة في مكان الردم.

ب– المسافة تزيد عن 100 m وحتـــى عدة كيلومترات:

يتألف طاقم الآليات من:

1. بلدوزر مجهز بريبر لنكش الصخور وتكويمها.
2. تركس لتحميل الناتج على الكميونات.
3. كميونات قلابة لنقل التربة.
4. بلدوزر لتسوية الناتج.
5. مدحلة رجّاجة ذاتية الحركة أو مقطورة.

4.4.6 التربة متوسطة القساوة ويوجد فيها بعض الكتل الصخرية

آ– المسافة ما بين 0 و100 m.

يتألف طاقم الآليات من:

1. بلدوزر للحفر والدفع والتسوية حتـــى مسافة 100 m.
2. مدحلة رجاجة.

ب– المسافة تزيد عن 100 m:

1. بلدوزر للحفر والتكويم.
2. تركس للتحميل على السيارات القلابة.
3. سيارات قلاّبة للنقل.
4. بلدوزر للتسوية في مكان الردم.
5. مدحلة رجّاجة.

5.4.6 التربة طرية (رملية أو سيلتية) وليس فيها كتل صخرية

آ- المسافة ما بين 0 و 100 m.

يتألف طاقم الآليات من:

1. بلدوزر للحفر والتسوية والدفع.

2. مدحلة رجاجة مطاطية أو أرجل غنم أو ذات أرجل دقّاقة.

ب- المسافة تزيد عن 100 m ولا تتجاوز 200 m:

يتألف طاقم الآليات من آلية واحدة هي الموتور سكريبر للحفر والنقل والتفريغ والتسوية مضافاً إليها مدحلة رجّاجة.

ج- المسافة بين 100 m وعدة كيلومترات:

1. بلدوزر للحفر والتكويم أو تركس للحفر المباشر والتحميل.

2. سيارات قلابة لنقل الأتربة.

3. بلدوزر أو غريدر للتسوية حسب دقة العمل المطلوبة.

الفصل السابع

أمن وسـلامة العمل

1.7 مقدمـــة

تختلف مشاريع الهندسة المدنية عن غيرها من المشاريع الأخرى بتنوعها واتساع رقعة تنفيذها وأثناء فترة تنفيذ هذه المشاريع تتولد أخطار مختلفة تؤدي إلى وقوع حوادث مؤسفة ومتنوعة بسبب عدم تأمين شروط السلامة والأمان، وهذه الحوادث تتسبّب في ضياع الأرواح والأموال والأجهزة والمعدات، كما تتسبّب في تعطيل الأعمال في المشروع وزيادة الفترة الزمنية اللازمة لتنفيذ المشروع وبالتالي زيادة في كلفة المشروع.

2.7 تعريف الحادث

هو كل ما يقع نتيجة للإهمال أو الغفلة أو الجهل أو لسبب غير متوقّع وأحياناً فشل العامل في تقدير احتمال وقوع الخطر وهو كل ما يسبب ضرراً للمشروع أو للعاملين فيه أو غيرهم بالدرجة الأولى والمواد والآليات بالدرجة الثانية.

والحوادث على نوعين إما بسيطة أو شديدة، وفي جميع الأحوال فالحوادث تؤثر سلبياً على المصاب وذويه وتعيق سير العمل هذا إضافة إلى ما ينتج عنها من تكاليف باهظة.

3.7 أسباب وقوع الحوادث

قد وجد من الدراسة التـــي جرت في الولايات المتحدة الأمريكية عن الحوادث وأسبابها في قطاع التشيّيد أنّ أسباب الحوادث يمكن أن تعزى إلى ما يلي:

1. السقوط والتعثر والانزلاق 22%.
2. الأجهزة والآلات 21%.

3. سقوط المواد والأدوات 20%.
4. الآلات والأدوات اليدوية 13%.
5. المسامير والأدوات الحادة 11%.
6. ما يسبّبه القطع والبرم واللي 7%.
7. أسباب أخرى متنوعة 6%.

4.7 نتائج وآثار الحوادث

1.4.7 الجانب الإنسانـــي

كم وكم من الحوادث التـــي أدت إلى آلام ومآسي ومعاناة نفسية ومادية تصيب العمال وأفراد أسرهم، والتـــي لا يمكن أن نعوّض بالمال مهما حاولنا.

2.4.7 الجانب الاقتصادي

إضافة إلى ما تسبّبه الحوادث من خسائر بشرية فهي تسبّب خسائر مادية كبيرة للمقاول والمجتمع بشكل عام. فتكاليف الحوادث وتعويضات العاملين المصابين باهظة الثمن، هذا إضافة إلى أن المقاول قد يفقد أقدر وأخلص عماله والذي يكون من الصعب جداً ملء فراغه بشخص مماثل وإن أمكن ذلك فإنّ ذلك يأخذ من الجهد والمال والوقت الكثير وبالطبع يتوقف العمل حتـــى يتم إيجاد البديل.

3.4.7 تكلفة الحوادث

1. تكاليف مباشرة للحوادث السابقة: والتـــي تمثّل الزيادة في رسوم التأمين.
2. تكاليف مباشرة لكلّ حادث على حدة: حيث تؤثر الحوادث تأثيراً مباشراً وسلبياً:
   - تأخير المشروع بسبب الحوادث التـــي تؤدي إلى إرباك وتوقف العمل.
   - الخسائر الناجمة عن انخفاض أو توقف الإنتاج في موقع العمل.
3. تكاليف غير مباشرة: نذكر منها:
   - تكاليف الإسعافات الأولية وتأمينها في موقع العمل.
   - تكاليف نقل المصابين من مكان وقوع الحادث إلى أقرب مشفى.

- تكاليف التحقيق في أسباب الحوادث.
- تكاليف تتعلق بالأجور الضائعة.
- خسائر في الإنتاج.
- تكاليف غير محسوسة ولكنّها مؤثّرة مثل: انخفاض معنوية العمال وزيادة الخلافات بينهم حيث تؤثّر الحوادث تأثيراً بالغاً في معنويات العمال.
- ما ينتج عن الحادث من تأثير سلبـــي على سمعة المقاول أو الشركة أو المؤسسة المسؤولة عن التشييد.

5.7 تعريف السلامة

تعرف السلامة بشكل عام بأنها العلم الذي يسعى لحماية الإنسان وتجنيبه المخاطر في أي مجال، ومنع الخسائر في الأرواح والممتلكات والأموال.

أما السلامة المهنية فتعرف بأنها:

حماية العامل من المخاطر التـــي قد يتعرض لها بسبب أداء العمل.

6.7 أهمية وضع برنامج للسلامة وإتباع قواعده

هناك عدة عوامل رئيسة تشجع على وضع برنامج للسلامة ومن ثمّ التطبيق الفعلي والجاد لقواعد السلامة والأمن أثناء ممارسة الأعمال الهندسية وأهم هذه العوامل:

1. مراعاة الجوانب الإنسانية لما ينتج عن الحوادث من آلام ومآسي ومعاناة.
2. مراعاة الجوانب الاقتصادية لما ينتج عن الحوادث من خسائر وتكاليف مادية كبيرة تفوق تكاليف وضع برنامج السلامة ورواتب موظفي قسم السلامة.
3. مراعاة القوانين والأنظمة التـــي توجّب تطبيق قواعد السلامة أثناء تنفيذ مختلف الأعمال الهندسية، هذه القوانين والأنظمة تلقي باللوم الكبير على المقاول على اعتباره مسؤولاً عن توجيه العمال وتدريبهم وإرغامهم على التركيز الدائم واتخاذ الحيطة والحذر والانتباه إضافة إلى توفير جو آمن للعمل ليس للعمال فقط وإنّما لعامة الناس أيضاً.

7.7 أهداف برنامج السلامة

- التخفيف من معاناة العمال ومآسيهم جراء وقوع الحوادث المختلفة.
- التخفيف من خسارة المواد والكوادر البشرية الناتجة عن وقوع الحوادث.
- رفع معنويات العمال وكفاءة وجودة عملهم إضافة إلى معدل إنتاجهم وذلك بسبب توافر جو عمل آمن وسليم.
- تخفيض كلفة التأمين على المشاريع.
- تخفيف عدد الحوادث التـــي يمكن أن تقع، وبالتالي تخفيف التكاليف الناجمة عن الحوادث والتخفيف من الكلفة الكلية الناتجة عن تأخير زمن المشروع بسبب الحوادث.

8.7 قياس فعالية برنامج السلامة

لتأمين السلامة والأمن للعمال أثناء قيامهم بالعمل في ساحة العمل، لابد من مراعاة كثير من الأمور نذكر منها ما يلي:

1- أن يتم وضع المواد بشكل آمن حتـــى لا تكون معرضة للسقوط فوق رؤوس العمال وعامة الناس المارّين بالقرب من موقع المشروع.
2- يجب عدم تكديس المواد بالقرب من الحفريات حتـــى لا تسبّب انهيار الحفريات.
3- وضع الحواجز حول الخنادق والحفر والآبار للمحافظة على أرواح العمال.
4- يجب أن يكون موقع العمل نظيفاً وخالياً من المواد العائقة والعوارض والتـــي تؤدّي إلى اصطدام العمال بها أو تعثّرهم أو انزلاقهم.
5- يجب أن يتم تحميل وتفريغ المواد من قبل العمال بحذر.
6- التأكد من خلو الموقع من المواد المتفجّرة والخطرة وسريعة الاشتعال والتـــي تودي بحياة جميع العاملين في المشروع، وفي حال ضرورة وجودها يجب تخزينها بأمان بعيداً عن احتمالات التسخين والعبث بها.
7- يجب ألاّ تشكل المعدات كالسقالات والسلالم وغيرها من الأدوات أي عائق لحركة العمال إذ من الممكن اصطدامهم بها.
8- التأكّد من نصب السقالات والسلالم وتركيبها بشكل جيد ومتين وآمن إضافةً إلى وضع

سياج للأمان حول السقالة نفسها.

9- التأكيد على استعمال العمال وسائل الحماية الشخصية مثل:

آ- حماية العيون:

يتم تزويد العاملين بنظارات السلامة لاستخدامها في العمليات التالية: الطحن – الجلي – النحت – القطع – التكسير – الصب – المعادن الذائبة.

ب- خوذات السلامة:

يجب على جميع العاملين في مناطق العمال المعرّضين للإصابة بالرأس نتيجة الارتطام أو الإصابة نتيجة الأجسام الساقطة أو المتطايرة والصدمات ارتداء خوذات السلامة أثناء قيامهم بالعمل.

ج- حماية السمع:

يجب ارتداء أجهزة حماية السمع عندما تزيد شدة الصوت عن الحد الأقصى المسموح به.

د- جهاز التنفس:

يتم توفير جهاز تنفس عند القيام بالعمل في الأماكن التـــي تقل فيها نسبة الأكسجين عن الحد المطلوب.

هـــ- حماية الأيدي:

استخدام النوع المناسب من القفازات كالتالي:

1. قفازات العمل في (الأطراف الحادة).
2. قفازات مبطنة بمواد عازلة غير موصلة للحرارة تستخدم للعمل عند التعامل مع المواد الحارة.

ز- مصابيح اليد:

والتـــي تستخدم عند العمل في الأماكن المظلمة كالأنفاق.

ح- الحواجز الوقائية.

ي- الملابس الواقية:

يجب أن يلبس العمال ملابس مناسبة للعمل الذي يقومون به.

ك- حماية الأقدام:

حماية الأقدام ضرورية لمنع الإصابات الناتجة عن سقوط أجسام ثقيلة أو حادة على القدمين وذلك عن طريق ارتداء أحذية السلامة بأنواعها.

م – صندوق الإسعافات الأولية:

تؤمن صناديق الإسعافات الأولية في جميع أماكن العمل لتأمين الإسعاف الأولى لإصابات العمل.

10- يجب أن يكون الأشخاص العاملون على الآليات والأجهزة لائقون ومؤهلون بشكل جيد.

11- استخدام العمال للأدوات والآلات اليدوية والمعدات كالمطارق والمناشير وما شابه ذلك بحذر وانتباه، كي لا تقرض أو تقطع أصابعهم وأيديهم.

12- عدم تشغيل العمال ساعات إضافية إلا في حالات الضرورة القصوى بسبب تعب العمال وانخفاض وتيرة انتباههم، وذلك يتسبّب بحوادث نحن بغنـــى عنها.

13- عدم تشغيل العمال في الليل وإذا كان ذلك ضرورياً فلابد من تأمين الإضاءة الكافية.

14- تأمين وصول التيار الكهربائي بشكل آمن إلى الموقع لإضاءة الأماكن المعتمة والمظلمة في الموقع، ويجب ألاّ تشكّل الكابلات الكهربائية عائقاً لمرور المشاة والعمال، وألاّ تكون معرضة للتلف والرطوبة وأن تكون العدد والأجهزة التـــي تعمل على الكهرباء مربوطة بشكل جيد.

15- أن يتوافر في الموقع طبيب لإجراء الإسعافات الأولية في حال وقوع أي حادث، بالإضافة إلى توافر سيارة إسعاف إن لزم الأمر.

16- تزويد الموقع بأجهزة إطفاء الحريق.

17- تزويد الموقع بشبكات المياه المزوّدة بمآخذ لإطفاء الحريق.

18- توفير وسائل الاتصالات اللازمة في الموقع بحيث يتم عمل كافة الإجراءات الضرورية في حال وقوع أي حادث في الموقع.

19- تزويد الموقع بالإشارات والعبارات التحذيرية المضاءة إضافة إلى الرسومات التوضيحيّة.

20- تطبيق العقوبات على مخالفي قواعد السلامة في موقع العمل.

21- عقد الندوات في الموقع لشرح الجديد في ميدان السلامة والأمن وكيفية تطبيق قواعد

السلامة.

22- يجب توعية العمال في الموقع وتنبيههم إلى ضرورة التركيز الدائم وتوجيه النصح الدائم لهم وتعريفهم بالأسباب التـــي تؤدي إلى وقوع الحوادث.

23- منع العمال من الإهمال والتهاون أو الطيش والتهور أو المزاح والهزل مع بيان أسباب المنع.

24- تأمين العمال ضد الحوادث.

25- التأكيد على انتساب العمال إلى اتحاد العمال.

26- الكشف الطبـــي عند التحاق العامل بالعمل وذلك لاستبعاد أي عامل لا تتفق درجة لياقته مع العمل الذي سيؤديه.

27- التأكيد على إجراء الكشف الطبـــي الدوري على العمال.

28- يجب على المقاول توفير جميع وسائل الراحة النفسية والترفيه في مقر سكن العمل إضافة إلى توفير وسائل السلامة في موقع العمل.

9.7 ملحق تخطيط أعمال الحفر والردم

يعدُّ تخطيط أعمال الحفر والردم والتسوية من الأمور الهامة والمساعدة على وضع خطة أداء آمن لتنفيذ هذه الأعمال، ويمكن الاهتمام بموضوعين أساسين هما:

1. طريقة وصول الآلية والبدء بتنفيذ العمل ومتابعة العمل

يبيّن الشكل المرفق طريقة وصول الآلية وبدء عملها على منحدر حيث يطلب تنفيذ أعمال الحفر.

2. اختيار الآلية المناسبة لنوع التربة

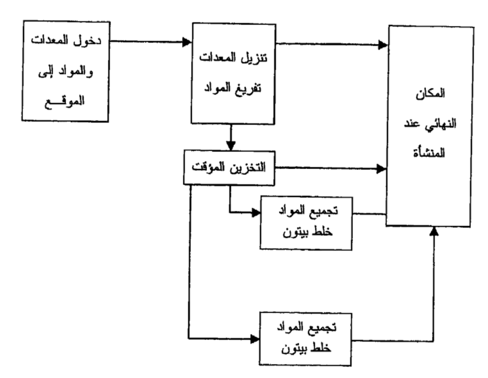
يبيّن الشكل المرفق مقطع طولي لأعمال التسوية ونقل التربة ويكون على المتعهد اختيار الآليات المناسبة وعلى مشرف الأداء الآمن أن يعمل بالتوازي لتأمين عمل هذه الآليات ضمن شروط الموقع.

10.7 الأداء الآمن في أعمال نقل المواد والتجهيزات في الموقع

يعدُّ أمن الأداء في أعمال نقل المواد والتجهيزات في الموقع من الأمور الهامة التـــي تندرج ضمن الخطة العامة لأمن أداء العمال في أي مشروع نظراً لكون المخاطر المحتملة من النوع الذي لا يمكن التنبؤ به ويتوجب على المتعهِّد اتخاذ كافة التدابير اللازمة لتخطيط حركة المواد والتجهيزات في الموقع وجعل هذه الحركة منظمة ومدروسة بحيث لا تنشأ تعارضات مع الأعمال الجارية في الموقع بشكل مصادفات تؤدي إلى حوادث وإصابات. ويمكن نمذجة حركة المواد والتجهيزات في الموقع كما يلي:

حركة المواد والتجهيزات في الموقع:

مهما كان نوع المنشأة أو الأعمال المنفذّة في المشروع أو مراحل التنفيذ فإنَّه من الواجب على المتعهد أن يقوم بإدارة حركة المواد والتجهيزات ضمن الموقع محافظاً على متطلبات السلامة ويبيّن المخطط الصندوقي التالي أسلوب حركة المواد والتجهيزات كما في (الشكل 7-1).



الشكل 7-1: المخطط الصندوقي لحركة المواد والتجهيزات

ويمكن أن يكون نقل المواد ضمن الموقع وفق المخطّط الصندوقي السابق بثلاثة أنواع:

خطيّاً أو ثنائي أو ثلاثي البعد كما يمكن أن تتم عملية النقل والتنـــزيل للمعدلات أو التفريغ للمواد من قبل العمال يدوياً أو بواسطة تجهيزات وآليات خاصة نذكر منها:

1. السير الناقل: ويكون عادةً مركب على آلية أو على مساند مستقلّة.
2. أنابيب بلاستيكية أو معدنية مائلة لنقل المواد من منسوب مرتفع إلى آخر منخفض مثل نقل الخلطة البيتونية.
3. الونش لرفع وتنـــزيل المواد خطياً باستخدام سلة متحركة بواسطة بكرات وكابلات فولاذية أو حبال خاصة تعمل بواسطة محرك كهربائي مع إمكانية التحكّم بالسرعة.
4. الرافعة الشوكية.

قائمة المصطلحات

AASHTO	الجمعية الأمريكية لموظفي الولاية للطرق والنقل
Adobe	طين
Amplitude of vibration	مطال الاهتزاز
Angle of repose	زاوية الاستقرار
Articulated	الطريقة المفصلية
Auger	مثقاب
Backhoe	الحفارة العكسيّة
Bank soil	ترب طبيعية
Basting	أعمال التفجير
Belt conveyor	السير المتحرك
Blast hole	ثقب لوضع الشحنة
Blocks (Boulders)	أحجار
Bohom dump equipments	شاحنة ذات تفريغ سفلي
Brevetting the soil	ترطيب التربة
Bulldozer	البلدوزر
Clamshell	الحفارة ذات الكماشة
Clay	غضار
Clay loam	سيليت غضاري
Coefficient of traction	عامل الجر
Cohesive soil	التربة المتماسكة المتلاصقة
Compacted soil	ترب مرصوصة
Compaction equipments	آليات رص التربة

Compaction soil	رص التربة
Courtesy of ingeresoll	مثقاب أسفل الثقب مثبت على مثقاب دوار
Crab	طريقة السرطان
Crawler tractor scraper	السكريبـــر الجنـــزر
Dense graded soil	ترب التدرج الجيد جداً
Digging soil	حفر التربة
Disintegrated granite	غرانيت متفسخ
Draglines	الحفّارة ذات الدلو المسحوب
Drawbar pull	قوة السحب
Drilling	الثقب
Dry density	الكثافة الجافة γ_d
Dump trucks	الكميونات الناقلة
Dumping soil	تفريغ التربة
Earth moving	إزاحة التربة
Earth work	الأعمال الترابية
Earth work quanting	حساب حجوم الأعمال الترابية
Embankment	ردمية
Excavation	حفرة
Excavator	حفارة
Excavator	المجرفة
Filling , subgrade	ردم التربة
Fork Truck	الرافعة الشوكية
Frequency of vibration	تردد الاهتزاز
Gap graded soil	ترب ذات تدرج متقطع
Gradability	الميل

Gradation curve	منحنـــي التدرج
Grade resistance	مقاومة الميل
Grading	تسوية التربة
Gravel	بحص ناعم
Impact action	الصدم أو الدق
Kneading action	العجن مع الضغط
Ladder type	آلية الحفر المستمر ذات الغراف المستطيل
Liquid limit	حد السيولة LL
Loose soil	ترب سائبة (مخلخلة)
Max. depth of shovel	عمق الحفر
Max. digging height	ارتفاع الحفر الأعظمي
Max. digging radius	نصف قطر الحفر الأعظمي
Max. dumping radius	الارتفاع الأعظمي للتفريغ
Max. dumping radius	نصف قطر الأعظمي للتفريغ
Moisture content	محتوى الرطوبة
Non cohesive soil	الترب غير المتماسكة
Occupational safety and health	قانون الصحة والسلامة المهنية
OSHA	الآوشا
Padffot roller	المدحلة الأسطوانية ذات الأرجل الدقاقة
Plastic limit	حد اللدونة PL
Plasticity index	دليل اللدونة PI
Pneumatic roller	مدحلة ذات الدواليب المطاطية
Poorly graded soil	ترب سيئة التدرج الحبـــي
porosity	المسامية n
Pressure grouting	الحقن الضغطي

Productivity	الإنتاجية
Protecting excavations and workers	حماية الحفر والعمالة
Pushdozer	البلدوزر الذي يقوم بدفع السكريــــر
Rand company	مثقاب دوار
Rear dump truck	شاحنة ذات تفريغ خلفي
Rim pull	قوة الجر على إطار
Ripper	آلة شق الصخور
Rolling resistance	مقاومة السير
Safety procedures	إجراءات السلامة
Safety programs	برامج السلامة
Sand	رمل
Sandy loam	سيليت رملي
Scraper	السكرير (الكاشطة)
Shaking text	اختبار الهز
Sheep's foot compactor	المدحلة الأسطوانية ذات أرجل الغنم
Shovel	المجرفة الأمامية
Shrink age	انكماش
Silit	سيليت
Slope stability	استقرار الميول
Smooth steel roller	مدحلة أسطوانية ملساء
Soil classification	تصنيف التربة
Soil volume-change characteristics	خصائص تغير الحجم للتربة
Stability of excavation	استقرار الحفر
Static pressure	رص ستاتيكي
Stones (Cobbles)	بحص خشن

Straight	الطريقة المستقيمة
swell	الانتفاخ
Swing angle	زاوية الدوران
Tractor	جرار
Transport equipments	آليات النقل
Transportation soil	نقل التربة
Trench	خندق
Trenching machines	آليات حفر الخنادق
Trucks	التركس
Unified system	النظام الموحد
Vibration	الاهتزاز
Void ratio	معامل المسامية e
Water content	محتوى الرطوبة
Well graded soil	ترب جيدة التدرج الحبـــي
Wheel tractor scraper	السكريـــر المدولب
Wheel type	آلية الحفر المستمر ذات الغراف الدائري
Winch Systems	الونش

المراجـــع

أولاً: المراجع الأجنبية

1. A.C. Fedelyve. Construction Machinery, Keive, 1984.
2. Austen, A.D, and, R.H. Neal, "Managing Construction Projects a Guide to Process and Procedures" International Labour office, Genev 1992.
3. Biernacki, J. and, B. Cyunel, Metody Sieciowe w Budownictwie, Arkady. Warszawa, 1989.
4. Buga J., Kolupa M. i inni: Programowanie Liniowe w Planowaniu procesow transportowych. Warszawa: WKil 1996.
5. Catalogs of Caterpiller.
6. Caterpiller Performance Handbook. Caterpiller Inc., Peoria, IL.
7. Clemmens, J.P. and R.J. Dillamn. Production Efficiency Study-on Rubber-Tired scrapers (Report No. FHWA-DP-PC-920). U.S. Department of Transportation, Arlington, VA, 1977.
8. Compton, G. Robert, Jr. Selecting Pile Installation Equipment, 3rd ed. MK?T Geotechnical System, Dover NJ, 1982.
9. Construction Methods and Management, by S.W. Nunnally, 1998.
10. Construction, Planning, equipment and Methods: Peurifoy, 2002.
11. Cynuel B., Dura A., Urbanski K.: Metody matematyczne w organizacji, zarzadzaniu i planowaniu w przemysle materialow budowlanych. Krakow: AGH 1998.
12. Cyunel B., Technologia i Organizacja Boudownictwa Drogowego, Poland - Warszawa 1998.
13. Cyunel B.: Optymalizacja organizacji i mechanizacji budowli ziemnych w oparciu o ekonometryczna metode analizy. Poland 1990.
14. Fundamental of Earthmoving (Caterpiller).
15. Handbook of Construction (Mc Graw - Hill).

16. Hausmann Manfred R. Engineering Principles of Ground Modification. New York: McGraw-Hill, 1990.
17. Idzkiewicz A.: Pert – Metody analizy sieciowej. Warszawa: PWN 1987.
18. International Construction Vol. 29, No. 10, October 1990.
19. International Construction Vol. 29, No. 9, September 1990.
20. International Construction Vol. 30, No. 12, December 1991.
21. International Construction Vol. 31, No. 2, February 1992.
22. International Construction, Vol. 31, No. 1, January 1992.
23. Janusz Rajiski, Jerzy Tyser.
24. Kaplinski O., Skarzynski A.: Wybrane metody matematyczne w organizacji i planowaniu budowy. Poznan: 1993.
25. L.D. Akeenov. Construction Engineering, Liningrad, 1987.
26. Lange O.: Optymalne decyzje. Warszawa: OWN 1994.
27. Modelowanie, Symulacja Cyfrowa - Poznan 1986 - Poland.
28. O.O. Letvinove. Construction Engineering, Kieve, 1985.
29. S.S. Ataev. Construction Technology, Moscow, 1985.
30. S.S. Ataev. The Technology of Industrial Construction of Cost - in - situ concrete. Moscow, 1989.
31. Sadowski W.: Teoria podejmowania decyzji. Warszawa: PWE 1984.
32. The Technical Aspects of Compaction in Earthmoving and Road Construction Edition (Clark) by f. fischer.
33. U.E. Beliacove. Earthwork, Moscow, 1990.
34. Vibratory Soil and Rock Fill Compaction: by (Lars Forssbland) Dynapac edition.
35. Wolgin L.W.: Optymalizacja. Warszawa: WNT 2000.
36. World Showcase Supplement (Catalogs).
37. Zasady metodyczne opracowania normatywow i norm pracy dla robo`t budowlano-montazowych. Warszawa: MBiPMB 1999.

ثانياً: المراجع العربية

1. د. رياض الحسين، د. نبيل الهزيم – تنظيم المشروعات وإدارتها – جامعة دمشق.
2. د. فتحي الصدي، د. مفيد العيد، د. نصر الدين خير الله – تكنولوجيا الإنشاء – جامعة دمشق.
3. د. بسام حسن – تكنولوجيا الإنشاءات (1) – جامعة تشرين – كلية الهندسة المدنية.
4. م. عبد الكريم الشامي – تكنولوجيا الإنشاءات – جامعة حلب.
5. د. فارس عيسى – الطرق العامة للإنشاء – جامعة حلب.





السعر : 6 دولارات أمريكية أو مايعادلها